

SERIE : E

N° d'ordre

113

THESES

présentées

à la

FACULTE DE PHARMACIE

de l'

UNIVERSITE DE PARIS

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR EN PHARMACIE

(Diplome d'Etat)

par

Jacques LAROCHE

Assistant à la Faculté de Pharmacie de Paris

1ère Thèse :

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA VISION DES COULEURS

2ème Thèse :

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 3 juillet 1963 devant la Commission d'Examen :

MM -

M. GUILLOT

Président

Y. RAOUL

P. LARUELLE

} Examineurs.

SERIE : E

N° d'ordre

113

THESES

présentées

à la

FACULTE DE PHARMACIE

de l'

UNIVERSITE DE PARIS

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR EN PHARMACIE

(Diplome d'Etat)

par

Jacques LAROCHE

Assistant à la Faculté de Pharmacie de Paris

1ère Thèse :

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA VISION DES COULEURS

2ème Thèse :

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 3 juillet 1963 devant la Commission d'Examen :

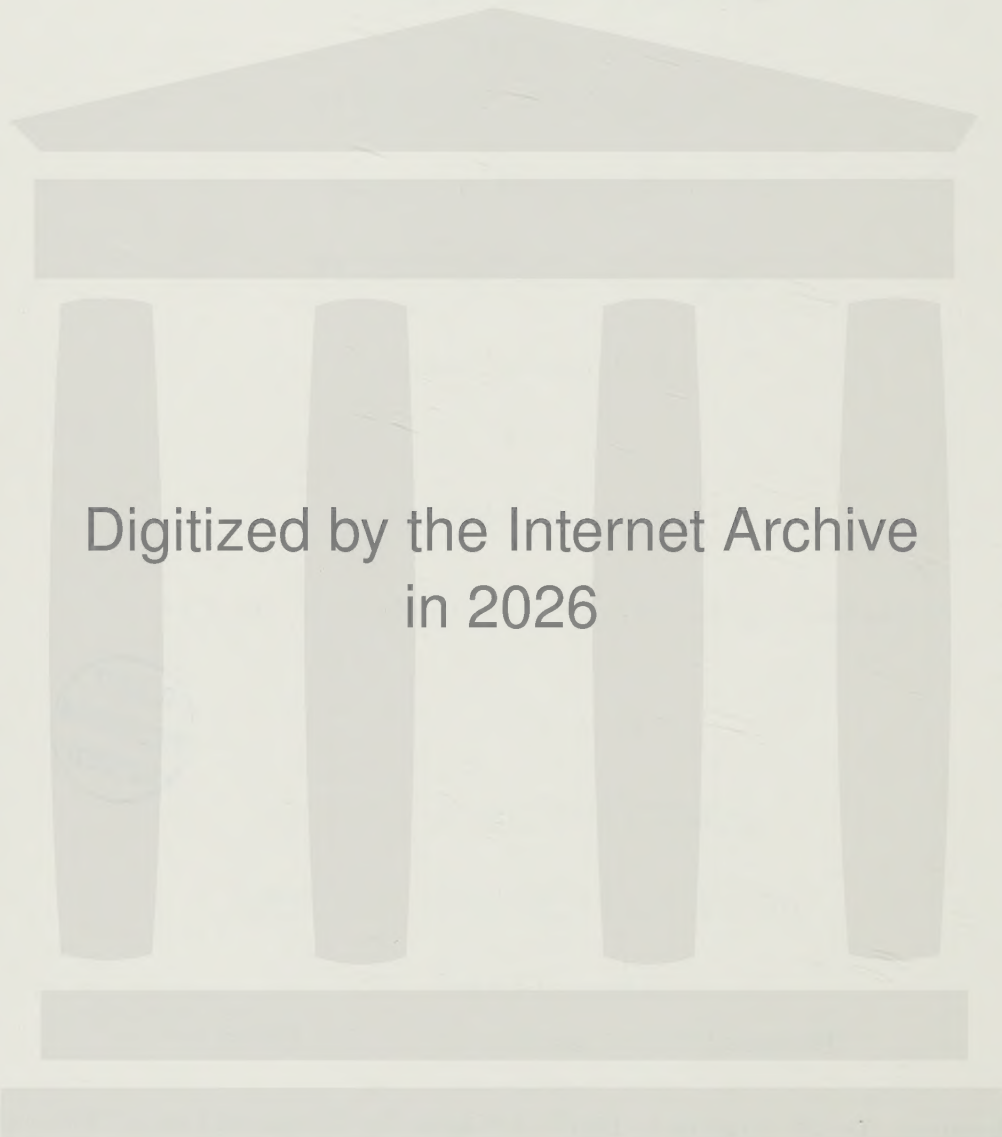
MM - M. GUILLOT Président

Y. RAOUL

P. LARUELLE

} Examineurs.





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550210_0029

PERSONNEL de la FACULTE de PHARMACIE de PARIS

ADMINISTRATION

MM. G. VALETTE	Doyen
M. M. JANOT	Assesseur
P. MALANGEAU	Assesseur
L. RODINEAU	Secrétaire général
L. JEANDEL	Secrétaire général adjoint
Mme S. CERTAIN	Secrétaire
Mme M. L. ESPINASSE	Secrétaire
M. G. FROISSART	Secrétaire

DOYEN HONORAIRE

M. R. FABRE	Président de l'Académie de Médecine Membre de l'Institut.
-------------	--

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. M. DELEPINE	Membre de l'Institut
L. LAUNOY	
P. FLEURY	
M. MASCRE	
M. PICON	
C. BEDEL	
R. FABRE	Président de l'Académie de Médecine Membre de l'Institut

PROFESSEURS

MM. M. M. JANOT	Pharmacie Galénique	(T)
G. VALETTE	Pharmacodynamie	(T)
MM. R. PARIS	Histoire Naturelle des médicaments simples d'origine végétale	(T)
M. GUILLOT	Physique	(T)
J. A. GAUTIER	Chimie organique	(T)
Melle S. LAMBIN	Microbiologie	(T)
MM. Y. RAOUL	Physiologie	(T)
J. COURTOIS	Chimie biologique	(T)
L. DOMANGE	Chimie minérale	(T)
P. CRETE	Botanique	(T)
R. TRUHAUT	Toxicologie et Hygiène industrielle	(T)
A. MORETTE	Hydrologie	(T)
R. CAVIER	Parasitologie	(T)
A. QUEVAUVILLER	Hygiène et Education sanitaire	(T)
R. MOREAU	Pharmacie chimique	(T)
J. GUY	Mathématiques appliquées aux sciences physiques et biologiques	(T. P.)
A. GERMAN	Virologie et Sérologie	(T. P.)
M. PIETTE	Biologie sanguine	(T. P.)
P. MALANGEAU	Chimie Analytique	(T)
M. GIRARD	Chimie appliquée à l'expaetise	(T)
G. DILLEMANN	Législation, Déontologie et Histoire de la Pharmacie	(T)
J. FLAHAUT	Minéralogie	(T. P.)
G. DEYSSON	Cytologie Végétale	(T. P.)
C. BOUDENE	Toxicologie et Hygiène Industrielle	(T.P.)
A. LE HIR	Pharmacie Galénique	
J. RENAULT	Chimie Organique	
P. LARUELLE	Physique	
P. ROSSIGNOL	Pharmacodynamie	
A. MANGEOT	Pharmacie Galénique et Industrielle	
P. DELAVEAU	Matière Médicale.	

MAITRES de CONFERENCES

MM.	Y. COHEN	Sciences Naturelles
	G. LE MOAN	Toxicologie
	H. RENAULT	Pharmacie Chimique
	C. PAOLETTI	Sciences Appliquées
	P. REYNAUD	Sciences Physico-chimiques
	J. POISSON	Sciences Naturelles
	A. DESVIGNES	Microbiologie
	F. PERCHERON	Biochimie
	J. SAVEL	Sciences Naturelles
	J. BORY	Sciences Naturelles

CHEFS de TRAVAUX PRATIQUES

MM.	P. BINET	Parasitologie
	A. CAVE (FF)	Pharmacotechnique chimique et galénique
	P. CORRIEZ	Physique
	C. DREUX	Electrochimie appliquée à l'analyse
	P. GESTEAU	Physique biologique
	J. GOUNELLE	Analyse appliquée au contrôle des médicaments (Section Biologie)
	H. GUERIN	Essais des Drogues végétales
	J. HARISPE	Chimie générale et pharmaceutique
	J. HENRY	Chimie (4ème Année)
Mme	J. HUBERT	Microbiologie
MM.	R. LELUC	Microbiologie
	M. LEMONNIER	Chimie analytique (2ème et 3ème Année)
Mme	S. LEMONTEY	Chimie (4ème Année)
Melle	S. LONGUEVALLE	Service des examens de Chimie
Melle	H. MORIN	Pharmacodynamie et Essais biologiques des médicaments.

MM.	F. PELLERIN	Chimie analytique (2ème et 3ème Année)
	R. PERLES	Chimie biologique/
	J. PESTIS (FF)	Biologie animale
	R. POUILLAIN	Hématologie
Mme	M. ROBERT	Sérologie
Melle	A. ROLLEN	Biologie végétale
Melle	L. SEGUIN (FF)	Analyse appliquée au contrôle des médicaments (Section Physico-chimique)
Mme	SEILLER (FF)	Pharmacie galénique industrielle
M.	J. YONGER	Chimie analytique (1ère Année)

INSTITUT de PHARMACOTECHNIE et de PHARMACODYNAMIE

M.	J. MANDEREAU	Chef de travaux pratiques de pharmacotechnie galénique
----	--------------	--

BIBLIOTHEQUE

Melle	Y. RUYSEN	Conservateur chargé de la direction
Melle	S. LAVAUD	Conservateur
Mme	G. KREHMER	Conservateur
Mme	A. DESGRIPPES	Bibliothécaire.

A Monsieur le Professeur M. GUILLOT,

Professeur de Physique à la Faculté de Pharmacie de Paris,
Membre de l'Académie Nationale de Médecine,

Qui m'a fait l'honneur de diriger ces
travaux et de présider le jury de
cette thèse,

Témoignage de profonde et respectueuse
gratitude.

A Monsieur le Professeur Y. RAOUL,

Professeur de Physiologie à la Faculté de Pharmacie de Paris,

Membre de l'Académie de Pharmacie,

Qui a bien voulu me conseiller et
juger ces travaux.

Témoignage de profonde et respectueuse
gratitude.

A Monsieur le Professeur P. LARUELLE,

Pharmacien des Hôpitaux,

Qui a bien voulu s'intéresser à ces
travaux,

Avec mes sentiments reconnaissants.

A MA FEMME,

Avant de commencer l'exposé de ces travaux, nous tenons tout d'abord à remercier très vivement Monsieur de Professeur GUILLOT qui a bien voulu nous accueillir à son laboratoire et accepter de nous diriger pendant de nombreuses années.

Sa grande expérience scientifique et ses précieux conseils nous ont permis de mener à bien ces longues recherches.

Nous lui exprimons ici notre gratitude pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury et l'assurons de notre profond attachement.

Que Monsieur le Professeur RAOUL qui a bien voulu nous conseiller dans une partie de nos travaux qui nous était moins familière, et auprès duquel nous avons toujours trouvé un très bienveillant accueil, accepte l'expression de notre reconnaissance pour ses conseils et l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger cette thèse.

Nous tenons à adresser à Monsieur le Professeur LARUELLE nos remerciements les plus sincères pour l'aide qu'il a bien voulu nous apporter et l'intérêt qu'il a toujours marqué pour ces travaux.

Monsieur le Professeur GUY nous a permis avec beaucoup de bienveillance d'utiliser des moyens de travail de son laboratoire, qu'il veuille bien trouver ici l'expression de nos sentiments reconnaissants.

Que Monsieur CORRIEZ, Chef de travaux, qui nous a soutenu de ses encouragements bienveillants trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous ne voulons pas manquer non plus de remercier Monsieur BERTON, Maître de Recherches au C. N. R. S. pour les conseils techniques et l'aide qu'il nous a donnés en maintes circonstances, ainsi que Monsieur Michel PASQUIER dont le concours nous a été précieux pour certaines expériences.

Nous n'oublions pas non plus l'amabilité avec laquelle le Docteur PARMENTIER de l'Institut d'Orientation Professionnelle et ses collaborateurs nous ont renseigné sur divers tests et méthodes de dépistage et nous leur en sommes profondément reconnaissant.

Nous voulons remercier enfin tous les étudiants, collègues et amis qui ont bien voulu nous consacrer un peu de leur temps pour nous permettre d'effectuer nos examens de vision des couleurs.

INTRODUCTION

L'étude de la vision des couleurs a déjà fait l'objet de nombreux travaux dont beaucoup sont classiques, et il peut paraître présomptueux de vouloir apporter une nouvelle contribution à ce sujet.

Nous nous sommes cependant efforcé, dans nos recherches, d'apporter des faits expérimentaux permettant une étude plus complète de cette question.

On avait, depuis très longtemps, remarqué que certaines personnes avaient une difficulté plus ou moins prononcée pour nommer les couleurs, mais il a fallu arriver à Dalton pour que l'on considère qu'une mauvaise discrimination des lumières ou des pigments colorés était due à une anomalie de la vision des couleurs.

A partir de cette époque où il avait été reconnu qu'une mauvaise discrimination des couleurs n'était pas due à une déficience psychologique mais bien physiologique, on a essayé de classer, pour les diagnostiquer, ces anomalies.

Les premières méthodes utilisées ont été des méthodes cliniques pour dépister les anormaux dans le cas où leur manque de discrimination était préjudiciable dans l'exercice de leur profession, les premiers travaux pour l'examen de sujets à l'aide de tests colorés datant d'Holmgreen.

Des centres de dépistage systématique ont ensuite été créés, en particulier dans la Marine et les Chemins de fer. Les tests servant à ces examens étaient d'abord des lumières dont les couleurs étaient différentes suivant les métiers des sujets examinés, puis les tests furent constitués par des pigments colorés. Ces méthodes, très empiriques, ne permettaient guère de bâtir des théories sur les causes de ces anomalies. C'est pourquoi plusieurs chercheurs ont essayé d'utiliser des appareils plus perfectionnés permettant de construire des courbes de sensibilité chromatique individuelle

et se différencier ainsi les sujets normaux des sujets anormaux.

Nous avons constaté personnellement, étant étudiant, que certains sujets, dits Daltoniens, éprouvaient une impossibilité à distinguer la double coloration en Botanique (carmin aluné, vert d'iode).

Par la suite, nous avons remarqué que ces sujets étaient extrêmement gênés aussi bien en Chimie analytique qu'en Bactériologie. Nous avons donc pensé qu'il serait intéressant de chercher à restituer à ces sujets une possibilité de discrimination des couleurs confondues ; mais, pour cela, il était nécessaire de pouvoir dépister d'abord ces sujets et de déterminer leur type d'anomalie pour essayer ensuite de la corriger.

Nous étant fixé comme but à atteindre cet essai de correction, nous avons, dans une première étape, effectué des dépistages systématiques de tous les étudiants et étudiantes en Pharmacie avec les méthodes classiques des divers tests pseudo-isochromatiques, mais certains résultats nous ayant paru difficilement interprétables, nous avons décidé de reprendre le problème dans son ensemble à l'aide des techniques physiques modernes. Nous avons donc voulu substituer l'examen de lumières colorées à celle des pigments colorés.

PLAN de la THESE

Afin d'aborder correctement l'étude du problème posé, nous avons redonné dans le CHAPITRE I les principales définitions physiques et physiologiques utilisées dans la vision des couleurs, en nous efforçant de bien distinguer les deux aspects physique et physiologique de ce phénomène.

Dans le CHAPITRE II nous redonnons une nomenclature assez complète des différents tests utilisés et des techniques classiques de dépistage des dyschromatopsies, en insistant sur les tests dont nous nous sommes servi, et en indiquant les contradictions des résultats et les insuffisances que nous avons relevées dans leur emploi.

Dans le CHAPITRE III nous faisons une description détaillée des deux appareils que nous avons utilisés, appareils que nous avons personnellement conçus et mis au point, l'un pouvant être employé comme appareil de dépistage rapide (anomaloscope), l'autre comme appareil d'étude de laboratoire (monochromateur). Nous nous livrons à un calcul statistique des résultats obtenus au monochromateur pour 31 sujets normaux aux tests, et à partir de ces données nous construisons la courbe moyenne de ces sujets normaux.

Dans le CHAPITRE IV nous expliquons comment, à partir des données numériques obtenues, nous avons imaginé de nouveaux modes de représentation, ceux-ci permettant de mieux mettre en évidence les caractéristiques des sujets examinés. Nous discuterons les résultats ainsi interprétés.

Dans le CHAPITRE V, nous donnons les résultats obtenus pour les différentes catégories de dyschromatopsiques à partir de la moyenne des résultats fournis par les sujets de chaque catégorie. L'étude comparée des divers modes de représentation graphique, d'une part, pour un sujet individuel et, d'autre part, pour un groupe de sujets, nous a amené à insister sur l'extrême variabilité d'aspect des courbes représentant les anomalies, ce qui conduit, à notre avis, à une rectification des notions classiques sur la vision des couleurs en général.

Dans le CHAPITRE VI, nous rappelons les difficultés qu'éprouvent ces sujets dans les examens de laboratoire, et nous indiquons dans quelle mesure nous avons pu y remédier par des méthodes simples : emploi de verres teintés ou d'écrans colorés. Nous mentionnons aussi l'action modificatrice de quelques substances médicamenteuses sur la vision des couleurs.

Dans le DERNIER CHAPITRE, nous donnons, enfin, la statistique des résultats obtenus par nous pour les différents anormaux, et nous la comparons à celles obtenues par d'autres chercheurs. Nous nous permettons de suggérer un rapport possible entre la fréquence des anomalies et la couleur des yeux.

Enfin, en CONCLUSION, nous indiquons les points sur lesquels nos recherches nous paraissent susceptibles de jeter une lumière nouvelle.

CHAPITRE I

ETUDE de la LUMIERE et des COULEURS

A. - LA LUMIERE et les COULEURS du POINT de VUE PHYSIQUE

Dans l'ensemble des radiations électromagnétiques, le spectre visible est très réduit, s'étendant de $700 \text{ m}\mu$ à $400 \text{ m}\mu$. En deçà de $400 \text{ m}\mu$ on trouve les rayons ultra-violet, les rayons X et les rayons γ ; au-delà de $700 \text{ m}\mu$, les infra-rouges, puis les ondes hertziennes.

La délimitation entre radiations visibles et ultra-violettes, d'une part, infra-rouges, d'autre part, est arbitraire car il n'y a pas de changement de nature du phénomène. Le spectre visible comporte donc une très petite proportion des radiations électromagnétiques dont les limites peuvent varier dans de légères proportions selon les individus.

La décomposition d'une source lumineuse par un prisme - expérience réalisée par Newton (33) ^{*} sur la lumière blanche - a mis en évidence l'existence de lumières simples et de lumières composées. Ces lumières seront appelées colorées toutes les fois qu'elles ne correspondront pas à un mélange de radiations équilibré pour l'oeil et équivalent à la lumière du soleil. Il est facile d'obtenir de telles lumières par décomposition de la lumière blanche.

L'étude de la lumière colorée se fera en considérant le cas le plus simple, c'est-à-dire une lumière monochromatique. Une seule des caractéristiques suivantes suffira à définir une telle lumière :

- la fréquence, ou nombre de vibrations par seconde, elle se représente par N ou par la lettre grecque ν ;

- la période T , ou temps nécessaire à l'accomplissement d'une vibration. Cette caractéristique des mouvements vibratoires, très utilisée en acoustique, ne s'emploie que rarement en optique ;

^{*} : Les numéros renvoient à la bibliographie classée par ordre alphabétique, en fin d'ouvrage.

la longueur d'onde qui est l'espace parcouru pendant une période. Cette caractéristique est de loin la plus utilisée pour définir les radiations électromagnétiques dans leur ensemble, et les radiations lumineuses en particulier.

On la représente par la lettre grecque λ et elle s'exprime soit en μ , soit en angströms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

La longueur d'onde varie en fonction de la fréquence, on dit qu'elle est liée à la fréquence et la relation qui définit cette dépendance s'exprime par $\lambda = \frac{c}{\nu}$. c a la même valeur pour toutes les radiations : c'est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide. Successivement, Fizeau en 1849, Foucault en 1850, et plus tard Michelson se sont attachés à la détermination de cette valeur. Le chiffre actuellement admis est :

$$c = 299.776 \text{ km/sec.}$$

L'étude de lumières complexes formées d'un ensemble de radiations hétérogènes se fera à l'aide d'un système dispersif pouvant résoudre ces lumières en plusieurs radiations monochromatiques.

Lumières blanches

Charles Fabry (10) a écrit dans son Encyclopédie photométrique :

"Tout rayonnement à spectre continu dont la courbe d'énergie n'est pas trop accidentée nous donne la sensation de blanc lorsque nous le recevons depuis un certain temps et que rien ne nous rappelle un rayonnement que nous considérons comme blanc quelques minutes avant."

Cette citation prouve combien l'oeil est un organe adaptable et combien les sensations qu'il donne sont subjectives et sujettes à caution.

Nous avons coutume de considérer comme source de lumière blanche de référence la lumière solaire. En effet, le soleil est considéré comme la source de rayonnement par excellence, parce qu'inépuisable, tout au moins à l'échelle de temps qui nous est coutumière. Si on veut calculer la température du soleil en fonction de son rayonnement et en tenant compte de l'absorption atmosphérique, on doit admettre que les couches externes sont à une température de 6000° K ; pour les parties profondes, on est réduit à des approximations qui, pour certains auteurs, atteignent plusieurs millions de degrés. La lumière que nous appelons lumière diurne, et qui nous paraît blanche, est donc la manifestation du rayonnement énergétique solaire ; elle est sujette à des modifications importantes dues à l'orientation du soleil par rapport à la terre et à l'épaisseur plus ou moins grande des nuages à traverser pour atteindre notre planète. Devant ces variations, on ne peut songer à prendre cette lumière solaire comme étalon de lumière blanche. Les physiciens ont alors pensé à prendre comme étalon des lampes à incandescence, mais chaque type présente un rayonnement énergétique particulier qui rend très difficile leur utilisation.

Les lampes à filament de tungstène sont les plus employées ; le filament supporte des températures très élevées, puisque le point de fusion du métal est 3.700°K .

Pour obtenir un rayonnement important, on utilise des lampes à vide avec un chauffage allant jusqu'à 3.300°K , mais leur durée est très courte car il se produit une volatilisation rapide du métal. Si, au contraire, on introduit un gaz inerte dans l'ampoule, argon ou krypton le plus souvent, on évite la volatilisation du filament, la température atteinte ne dépasse pas 2.800°K et la durée de la lampe dans les cas favorables peut dépasser **1.000 heures**.

La C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) a, en 1931, fixé les normes d'une lampe étalon dite étalon A de lumière blanche. Cette lampe fonctionne en atmosphère gazeuse avec un filament de tungstène ; la température de couleur du filament correspond à celle du corps noir chauffé à 2.850°K . En interposant sur le rayonnement de cette lampe des filtres constitués par des lames à faces parallèles contenant des solutions colorées de composition rigoureusement fixée, on modifie considérablement la température de couleur de la lampe et on a les étalons B et C, qui correspondent : le premier, à la lumière solaire - dans ce cas, la température de couleur de la lampe est amenée à 4.800°K -, le second, à la lumière dite "lumière du jour" - température de couleur portée à 6.500°K .

Enfin, on constate que le corps noir chauffé à une température de 5.200°K émet un rayonnement régulier que les sujets normaux ayant la vue reposée admettent comme lumière blanche parfaite. C'est le véritable étalon physique, mais son usage reste limité à quelques laboratoires de contrôle.

En outre, une lumière considérée comme blanche pourra être obtenue avec une lumière qui, reçue sur un prisme, donnera un spectre discontinu dans lequel certaines radiations éliminées seront remplacées par des bandes noires. Cette lumière, si elle est blanche, porte le nom de blanc d'ordre supérieur ; elle est obtenue, par exemple, par de la lumière blanche continue réfléchie par une lame isotrope épaisse à faces parallèles. Newton avait démontré la complexité de la lumière blanche décomposable par le prisme en ses éléments, puis se reconstituant à partir d'eux ; il avait aussi démontré que ce que notre œil appelle blanc était toujours un mélange équilibré de plusieurs radiations : blanc de la lumière solaire à spectre continu, ou blanc d'ordre supérieur à spectre discontinu.

Lumières colorées

Nous avons déjà donné les caractéristiques d'une lumière monochromatique, nous réserverons maintenant le terme de lumières colorées pour les sources lumineuses décomposables par un prisme c'est-à-dire à des rayonnements complexes.

Un rayonnement complexe est parfaitement défini du point de vue physique par sa courbe spectrale énergétique et son coefficient de luminosité. Il y aura donc deux facteurs à considérer pour un tel rayonnement : un facteur d'ordre photométrique (brillance totale de la source) et un d'ordre colorimétrique (répartition spectrale de l'énergie).

C'est ce dernier facteur qui est indiqué dans les spectres représentatifs des émissions de sources lumineuses. Par contre, les courbes spectrales de transmission des écrans colorés indiquent en général la répartition de l'énergie en supposant que la source lumineuse utilisée a une énergie identique dans tout le spectre, ce qui n'est jamais exact.

Il faudra donc, dans le cas d'une lumière colorée obtenue à partir d'une source de lumière blanche et d'un écran coloré, connaître la courbe spectrale énergétique de la source lumineuse et celle de l'écran, et déterminer par le calcul la courbe spectrale énergétique de la lumière colorée à la sortie de l'écran, ou enregistrer directement la composition spectrale de la lumière colorée produite.

Mesures et définitions photométriques

La mesure photométrique fondamentale est la mesure de l'intensité lumineuse d'une source dans une direction donnée : elle comporte la détermination du rapport de cette intensité à l'intensité d'une source étalon servant d'élément de comparaison. Elle est généralement effectuée par comparaison visuelle, mais l'oeil ne peut évaluer des rapports d'intensité et ne pourra que constater l'égalité ou l'inégalité d'intensité des deux sources. Celles-ci éclaireront des surfaces diffusantes qu'examinera l'oeil de l'observateur. La comparaison de l'intensité des deux sources se fera en affaiblissant dans un rapport connu l'éclairement de l'un des deux écrans diffusants, les divers modèles de photomètres diffèrent par les procédés employés pour réaliser cet affaiblissement. Pour une mesure correcte, il faut que les deux images rétiniennes des deux sources à comparer soient exactement juxtaposées et que les deux plages soient séparées par une ligne évanescence.

Il importe, en outre, de connaître pour chacune des deux sources comment est défini et comment est limité le faisceau de rayons lumineux utilisé. Cette étude conduit, dans le cas des instruments d'optique, à définir, d'une part, les pupilles qui limitent le faisceau des rayons utiles émis par un point de l'objet examiné, et, d'autre part, le champ de l'instrument, c'est-à-dire, le contour à l'intérieur duquel ce point doit se trouver être effectivement vu. Ceci permet de définir l'étendue du faisceau qui caractérise la quantité de rayons lumineux que contient le faisceau.

Ce faisceau lumineux suit la loi de Lambert, qui tient compte de l'angle existant entre le plan de la source émettrice et la direction d'observation et qui peut s'exprimer ainsi : Si l'on délimite sur la surface d'une source de brillance B

une aire S , elle donne, dans une direction faisant un angle θ avec la normale à S , une intensité I telle que $I = B S \cos \theta$.

Si les notions d'étendue et de direction suffisent à caractériser la constitution géométrique d'un faisceau lumineux, elles ne suffisent pas à définir ses propriétés physiques. Il est nécessaire d'introduire des caractéristiques dépendant de la nature de la source lumineuse.

Unités photométriques

Elles concernent les quantités de lumière émises par les sources ou réparties sur les surfaces qui les reçoivent. On peut ne considérer que les quantités d'énergie mises en jeu, sans se soucier de leur action sur l'oeil, ce qui amène à définir un certain nombre de grandeurs purement énergétiques, valables même s'il s'agit de rayonnement n'ayant aucune action sur l'oeil. Pour définir des grandeurs lumineuses, il faut tenir compte de l'efficacité lumineuse des différents rayonnements. A chaque grandeur énergétique correspondra donc une grandeur lumineuse.

Flux énergétique

Une source lumineuse S de dimensions finies rayonne dans l'espace une certaine quantité d'énergie par seconde. Cette puissance s'appelle flux rayonné par la source. Dans le cas d'un faisceau lumineux émis par une source et limité par un diaphragme le flux transporté par le faisceau dépend des propriétés de la source et de l'étendue du faisceau. Il est donc le produit d'un facteur géométrique par un facteur physique. Il s'exprime en watts.

Le flux lumineux est la quantité de lumière que produit une source, on l'exprime en lumen.

Le lumen est le flux lumineux rayonné par une source dont l'intensité est 1 candela dans un angle solide égal à l'unité.

Intensité énergétique

Une source peut rayonner inégalement dans les différentes directions. Elle ne suit plus, dans ce cas, la loi de Lambert. Dans le cas général, on considère l'intensité moyenne de la source. C'est donc le rapport du flux par la surface. Elle s'exprime en watts/stéradian.

intensité lumineuse

L'unité légale est la candela (6ème unité fondamentale du système international). Elle est définie comme la soixantième partie de l'intensité lumineuse d'un centimètre carré de la surface d'un "corps noir" porté à la température de fusion du platine (2.046°K).

La réalisation d'un corps noir parfait présente de grosses difficultés de mise au point. Dans la pratique, on utilise en fait des étalons de référence constitués par des lampes à incandescence fonctionnant aux "températures de couleur" de 2.042°K (lampe à filament de carbone dans le vide), de 2.060°K (lampe à filament de tungstène dans le vide, et de 2.800°K (lampe à filament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse). Ces lampes sont déterminées, soit directement, soit indirectement, par rapport à l'étalon primaire.

Luminance énergétique

Cette unité, appelée auparavant "brillance", caractérise la densité superficielle d'intensité. Elle se mesure en watts par stéradian et par unité de surface.

Luminance lumineuse

Elle est proportionnelle à l'énergie irradiée par unité de surface, mais, comme elle correspond à une unité lumineuse, il a fallu fixer la valeur de la "visibilité internationale relative" en faisant la moyenne d'un grand nombre de mesures ; on la représente par le symbole V_λ . La C.I.E. a fixé le facteur E_λ comme étant la puissance internationale pour laquelle on obtient V_λ . Ces facteurs sont liés à la luminance par la relation

$$B = K \sum V_\lambda E_\lambda \quad (\star)$$

L'unité est le Nit. $1 \text{ Nit} = 1 \text{ candela/m}^2$

L'ancienne unité était le stilb dans le système C.G.S. ($1 \text{ Nit} = 10^4 \text{ stilb}$).

Eclairement énergétique

C'est la densité superficielle de flux reçu (différence avec la luminance qui correspondait au flux émis). Il se mesure en watts/m^2

-
- ★ B correspond à la luminance (anciennement brillance)
 K est une constante fixée par la C.I.E.
 E est l'énergie rayonnée en direction de l'observateur

Eclairement lumineux

Le Comité américain de colorimétrie emploie le terme d'irradiance, qui prête à confusion.

Pratiquement, l'éclairement d'une surface correspond à la quantité de lumière que reçoit 1 m^2 de surface par seconde. Il se mesure en lumen par m^2 . L'unité est le lux.

Une autre unité a été utilisée pour les mesures visuelles, c'est le Troland, défini ainsi : C'est l'unité d'irradiance rétinienne correspondant au produit de la luminance en nits et de l'ouverture pupillaire en mm^2 . Cette unité est très utilisée par les physiologistes (23), mais se heurte à des difficultés pratiques dans des déterminations expérimentales.

Etude de quelques photomètres.

1. - Photomètre de Bouguer. - Il comporte un écran translucide derrière lequel se trouve un espace partagé en deux parties par une cloison médiane, chacune des loges ainsi constituées abritant une source lumineuse.

L'appareil est au point quand les deux plages présentent une intensité d'éclairement identique ; on arrive à ce résultat en déplaçant une des deux sources par rapport à l'écran. A ce moment les intensités lumineuses sont inversement proportionnelles aux distances respectives séparant les sources lumineuses de l'écran translucide.

2. - Photomètre pour la détermination pas à pas. - C'est Hyde et Cady qui utilisèrent cette méthode les premiers, dès 1918 ; quelques années plus tard, Gibson et Tyndall la mirent définitivement au point.

L'appareil comporte un prisme à 60° constitué par ajustage et collage au Baume du Canada de deux prismes à 30° , la face commune des deux prismes étant argentée sur la moitié supérieure de la hauteur. Il comporte, d'autre part :

- deux sources lumineuses L_1 et L_2 donnant deux faisceaux traversant
- deux fentes F_1 et F_2 destinées à régler l'épaisseur des faisceaux

- deux disques D_1 et D_2 à secteur tournant et placés entre les sources et les fentes ; ces disques, en tournant, interrompent le faisceau lumineux, la fréquence des interruptions permettant de régler la quantité de flux lumineux qui arrive jusqu'au prisme.

Le faisceau venant de F_2 se réfléchit dans le prisme et éclaire la moitié supérieure du champ de l'appareil en lumière monochromatique, le faisceau venant de F_1 passe directement et éclaire la moitié inférieure du champ en lumière monochromatique que l'on choisit différente de l'autre. On maintient un des disques immobile et on règle la rotation de l'autre, de manière à ce que les deux plages du champ d'examen présentent la même luminosité.

On recommencera la mesure en changeant une des radiations, et ainsi, de proche en proche, on aura étudié la brillance énergétique des différentes longueurs d'onde les unes par rapport aux autres.

Cette méthode a aussi permis la détermination de "l'observateur moyen" et l'établissement de la courbe moyenne de visibilité reconnue par la C.I.E. et qui sert depuis de référence.

3. - Photomètre à papillotement (45). - Il trouve son application dans la comparaison de deux couleurs différentes (photométrie hétérochrome) (Fig. 1). C'est Reed (42) qui, dès 1899, préconisa l'usage du papillotement pour solutionner le problème de la comparaison de deux sources colorées de couleur différente, problème qui est toujours difficile à résoudre pour tous les sujets.

Nutting (34), ensuite, puis Coblentz et Emerson, plus tard, utilisèrent à leur tour cette méthode et contribuèrent à la définition de "l'observateur moyen" par la C.I.E. et à l'établissement de la courbe moyenne de visibilité.

Si on fait alterner, lentement, à l'aide d'un disque tournant, le flux lumineux issu d'une source rouge et celui issu d'une source blanche, on remarque nettement la cadence du changement, à condition que la rotation du disque soit assez lente. Si on accélère la vitesse des changements, l'oeil ne perçoit plus qu'une teinte rose légèrement clignotante.

Par un réglage judicieux du flux de l'une des sources par rapport à l'autre, on arrive à éliminer ce phénomène de papillotement qui fait place à une teinte rose fixe. A ce moment, l'équilibre est atteint et on peut conclure que les flux lumineux issus des sources sont égaux, abstraction faite des couleurs.

Cet appareil, outre qu'il permet de comparer une lumière colorée à une lumière blanche étalon, permet aussi, en opérant de proche en proche, d'établir les brillances des diverses radiations du spectre ; il faut savoir toutefois que sa précision est assez douteuse.

Si on porte sur un même graphique les courbes de visibilité relative obtenues par la méthode pas à pas et par le papillotage, on se rend compte qu'il existe un décalage entre les résultats fournis par les deux méthodes (Fig. 2).

4. - Photomètre de Pulfrich. - Ce photomètre, que nous avons utilisé pour nos travaux comporte deux tambours gradués permettant de faire varier le pourcentage de lumière reçue sur chaque plage dans des proportions exactement déterminées.

Ainsi que nous l'expliquerons dans le Chapitre III, nous ne nous en sommes pas servi comme d'un photomètre. Les deux plages étaient bien éclairées par deux sources lumineuses différentes, mais nous ne cherchions pas à obtenir une égalité d'éclairement.

Appareils dispersifs.

C'est à Newton (33) qu'est due la première expérience de dispersion de la lumière par le prisme. De nombreuses améliorations ont été apportées depuis à cette première décomposition de la lumière blanche. On peut actuellement, à l'aide d'un prisme à fort pouvoir dispersif, obtenir un spectre très étalé et, par un jeu de fentes étroites, isoler des portions du spectre correspondant à 10 mμ environ. Le prisme possède l'avantage de disperser beaucoup les rayonnements de courte longueur d'onde. Il sera donc utilisé lorsqu'on veut étudier le bleu et le violet. Par contre, une étude dans le rouge nécessiterait l'emploi d'un réseau. Dans ce cas, ce sont les rayonnements de grande longueur d'onde qui sont les plus déviés.

Récepteurs physiques d'énergie radiante

On peut effectuer soit des mesures absolues, soit des mesures relatives ; l'idéal serait de procéder à des mesures énergétiques absolues, mais celles-ci sont difficiles à réaliser car, bien souvent, l'énergie rayonnante est extrêmement faible.

Deux types d'appareils se présentent à nous, les uns, qui sont neutres, sont appelés non sélectifs, les autres sont sélectifs. Les premiers donnent une réponse identique pour tout flux énergétique, quelle que soit la longueur d'onde du rayonnement ; les seconds donnent une réponse maxima lorsque le flux incident contient certaines radiations du spectre.

Appareils non sélectifs. - On recueille le rayonnement sur une surface noircie, de manière à ce que l'absorption soit totale : plusieurs substances différentes peuvent être utilisées à cet effet.

Le noir de fumée, que l'on dépose en plusieurs couches successives chaque couche de dépôt étant suivie d'un lavage à l'alcool, excepté la dernière qui ne doit subir aucun traitement. Les conditions pratiques dans lesquelles sont faites les manipulations, ainsi que la source productrice de noir utilisée, ont une grande influence sur la qualité du dépôt.

On peut aussi noircir au noir de platine ou au noir d'or, par volatilisation du métal dans le vide, mais là encore les résultats à attendre du noircissement sont inconstants.

Dans le cas de mesures absolues, il faut un récepteur de rayonnement parfaitement "noir", c'est-à-dire capable d'absorber la totalité du rayonnement. C'est là la difficulté principale de ces mesures, difficulté que l'on ne peut pas facilement résoudre totalement. En effet, malgré toutes les précautions prises pour la préparation de la surface absorbante, puis ultérieurement au moment de l'utilisation pour la focalisation maxima du rayonnement, on n'aura jamais la certitude d'avoir absorbé tout le flux émis par la source que l'on veut évaluer.

Bolomètres L'idée de l'appareil est attribuée à Svanberg, mais c'est à Langley que l'on doit le premier véritable bolomètre. On utilise la propriété que possèdent certains métaux de faible capacité calorifique d'avoir un coefficient de température négatif : pour ces corps dits semi-conducteurs, la résistivité décroît beaucoup quand la température augmente.

L'appareil est monté en pont de Wheatstone, deux bras bolométriques formés par deux minces rubans du semi-conducteur choisi constituant deux côtés opposés du pont ; les deux autres côtés sont occupés par des résistances équilibrées, de telle sorte qu'à l'obscurité le galvanomètre ne dévie pas. Un seul des bras est noirci et destiné à recevoir le rayonnement, ce qui modifie la valeur de la résistance et déséquilibre le pont : le galvanomètre dévie alors proportionnellement à l'énergie lumineuse reçue.

Souvent, au lieu d'un seul ruban noirci, on en place deux, l'un derrière l'autre, le second étant destiné à recueillir la portion du flux qui aurait pu ne pas être arrêtée par le premier.

Théoriquement, la sensibilité de l'appareil varie comme la racine carrée de la surface irradiée ; en réalité le phénomène est plus complexe et il existe deux types d'appareils ceux à surface absorbante large, et ceux à surface étroite. Pour les mesures absolues, on utilise de préférence les bolomètres à surface étroite en focalisant au maximum le rayonnement sur la zone absorbante, cependant certains auteurs préconisent dans ce cas l'usage de bolomètres à surface absorbante large.

Théoriquement encore, on a intérêt à avoir un courant de chauffage aussi intense que possible, la sensibilité augmentant avec cette intensité, mais ici

encore on est obligé de se limiter à des intensités assez faibles pour éviter la détérioration des bras bolométriques. D'autre part, la résistance des bras varie avec le courant de chauffage, la réponse de l'appareil ne reste donc proportionnelle à l'irradiation qu'à condition d'avoir un courant de chauffage d'assez faible intensité.

On a utilisé aussi des bolomètres dans le vide, ce qui évite les perturbations dues à la circulation d'air échauffé au contact de la résistance irradiée. La pression choisie est généralement de 1/100ème de millimètre de mercure ; cependant, si le vide est poussé au-delà de cette valeur, l'appareil atteint une sensibilité importante pour un courant de chauffage beaucoup plus faible.

La sensibilité de la réponse dépend en outre du galvanomètre utilisé ; pour ne pas diminuer la sensibilité de la mesure, celui-ci doit avoir une résistance voisine de celle du bolomètre ; il convient également que l'inertie du galvanomètre et celle du bolomètre soient en rapport l'une avec l'autre.

De toute manière, l'énergie captée reste toujours faible ; il y a lieu d'essayer de donner plus de sensibilité à la déviation du spot sans toucher à la précision de la mesure, pour cela on peut procéder à un enregistrement photographique de la déviation sur une plaque située à 1 ou 2 mètres du miroir.

Les méthodes d'autocompensation qui augmentent sensiblement la déviation du galvanomètre, mais risquent de perturber la précision des résultats, ne peuvent être utilisées en photométrie énergétique absolue.

Piles thermoélectriques. - On sait que dans un circuit constitué par deux conducteurs soudés, si les deux soudures sont à des températures différentes, il s'établit un courant électrique proportionnel à la différence de température : c'est l'effet thermoélectrique.

C'est à Melloni et à Tyndall que l'on doit les premières études sur les couples thermoélectriques et les usages auxquels ils se prêtent.

On cherche à avoir une sensibilité maxima : celle-ci dépendra du choix des métaux, suivant la condition d'utilisation certains couples métalliques sont plus avantageux que d'autres. D'après certaines recherches effectuées, on s'est aperçu que la réponse est maxima avec des matériaux pour lesquels le rapport de la conductibilité calorifique au produit de la température absolue par la conductibilité est constant : c'est le nombre de Wiedeman et Franz.

Cette condition est réalisée dans des cas relativement rares pour les semi-conducteurs, ce qui limite les possibilités de choix pour la construction des thermopiles.

On peut augmenter le rendement de la pile en multipliant les soudures, mais ce montage est peu utilisé en mesure énergétique absolue ; on lui préfère l'usage de pile de petite taille à une seule soudure absorbante, en arrière de laquelle on place un miroir concave à court foyer qui concentre le rayonnement et évite ainsi les pertes.

Cette pile est destinée à fonctionner dans une enceinte fermée qui la protège des perturbations extérieures ; dans certains cas on fait le vide dans l'enceinte, mais cela n'augmente pas systématiquement la sensibilité. On peut, enfin, introduire, dans l'ampoule contenant la thermopile, la vapeur d'un corps à poids moléculaire élevé non conducteur de la chaleur.

Les conditions que le galvanomètre doit remplir pour un fonctionnement optimum sont les mêmes que dans le cas des bolomètres.

En assimilant les piles thermoélectriques à des machines thermiques, certains auteurs se sont efforcés d'en calculer le rendement, celui-ci correspond à peu près à une valeur de 10^{-9} , ce qui est naturellement très mauvais.

On ne peut assimiler les bolomètres à des machines thermiques, mais par des calculs complexes on a évalué leur rendement qui correspond à celui des piles thermoélectriques.

En admettant que la focalisation du flux incident soit parfaite, on se rend compte que la réponse à attendre de l'appareil ne peut être que très faible, ce qui explique que toute mesure énergétique absolue soit une opération très délicate.

Appareils sélectifs.

Cellules photoélectriques. - Basées sur l'effet photoélectrique : un photon lumineux frappant une surface de métal, particulièrement de métal alcalin, va provoquer la libération d'un électron.

La cellule est typiquement constituée par une ampoule dans laquelle on a fait le vide et sur la face interne de laquelle on a fait un dépôt d'une couche de métal alcalin ; le rayonnement reçu provoque l'arrachement d'électrons qui sont recueillis par une électrode placée à l'intérieur de l'ampoule, une différence de potentiel établie dans l'enceinte favorise le cheminement des électrons.

Si, au lieu d'une ampoule vide, on emploie une ampoule remplie d'un gaz inerte, celui-ci va s'ioniser et le courant recueilli sera supérieur à celui obtenu dans le premier cas, cependant il n'est plus aussi rigoureusement proportionnel au flux incident et l'inertie de la cellule photoélectrique est plus grande.

La réponse d'une photopile reste toujours faible et on utilise une amplification par étages successifs.

Photomultiplicateurs. - On utilise alors la production d'électrons secondaires par un électron convenablement accéléré frappant une surface métallique convenablement choisie. On considère que, suivant les conditions du montage, un électron peut arracher de un à dix électrons secondaires.

On monte dans un même photomultiplicateur plusieurs étages d'amplification qui augmentent considérablement l'intensité du courant de réponse ; on peut arriver, pour un bon montage, jusqu'à une amplification atteignant 10^6 .

Cependant, cette méthode de mesure par cellule photoélectrique ne peut être utilisée en photométrie énergétique absolue car ces appareils sont sélectifs et leur réponse variera suivant les longueurs d'onde du rayon incident.

Principes de la photométrie non visuelle et de la spectrophotométrie

Parallèlement à la photométrie visuelle basée sur l'impression lumineuse produite sur l'oeil par des radiations, on peut utiliser une photométrie énergétique en transformant par des récepteurs non sélectifs l'énergie lumineuse en chaleur, et en mesurant la quantité de chaleur produite. On peut aussi se servir d'un récepteur sélectif si l'on connaît sa courbe de réponse en fonction de la longueur d'onde.

Ces méthodes sont particulièrement utilisées pour la mesure de l'absorption de la lumière dans une solution colorée. Cette absorption est régie par la loi de Beer-Lambert : L'absorption est une fonction exponentielle de la concentration et de l'épaisseur. Cette loi n'est rigoureusement valable qu'en lumière monochromatique.

Deux sortes d'appareils seront utilisés :

- les électrophotomètres, qui effectueront le dosage de la lumière spectrale totale par des cellules photoélectriques,
- les spectrophotomètres, qui détermineront séparément l'énergie de chaque portion du spectre et qui seront formés d'un monochromateur et d'un photomètre à cellule photoélectrique.

Grandeurs utilisées en spectrophotométrie

Densité optique. - C'est le rapport $D = \log \frac{I_0}{I}$

Ce rapport varie de 0 à 3 quand $\frac{I_0}{I}$ varie de 1 (absorption nulle) à 1000 (absorption pratiquement totale).

Coefficient d'extinction. - C'est le rapport $\xi = \frac{D}{e}$. C'est donc la densité optique par centimètre d'épaisseur de solution considérée.

Rôle des filtres. - Pour l'obtention de lumières sensiblement monochromatiques il sera possible d'interposer des filtres colorés sur le trajet d'un faisceau de lumière blanche. Un seul filtre donne généralement un rayonnement correspondant à une bande assez large du spectre. Par contre, la superposition de deux filtres permettra souvent d'isoler une bande spectrale très étroite.

Dans ce cas, les densités optiques de chacun des filtres s'ajoutent pour chaque longueur d'onde considérée.

E. - LA LUMIERE et les COULEURS au POINT de VUE PSYCHOPHYSIOLOGIQUE

La sensation colorée en fonction de la longueur d'onde.

Il est évident qu'il existe une certaine relation entre la longueur d'onde d'une radiation spectrale et le nom de la couleur correspondante. Cependant, il faut remarquer que la longueur d'onde est une grandeur purement physique qui peut être mesurée objectivement avec une grande précision, alors qu'une sensation colorée est un phénomène subjectif dépendant de l'organe visuel de l'observateur. Le nom attribué à une couleur dépendra des conditions sous lesquelles une lumière spectrale se présente à l'oeil, et deux observateurs placés dans les mêmes conditions pourront aboutir à des conclusions différentes.

Bouma (2) a proposé, comme limites des zones du spectre, les valeurs suivantes exprimées en $m\mu$:

violet	.....	380 à 436
bleu	.....	436 à 495
vert	.....	495 à 566
jaune	.....	566 à 589
orangé	.....	589 à 627
& rouge	.....	627 à 780.

Les valeurs indiquées par Rood (42) sont légèrement différentes et il considère en outre les teintes intermédiaires. En fait, il semble bien que l'oeil de la plupart des sujets normaux ne perçoive rien au-delà de 710 $m\mu$ et en deça de 400 $m\mu$.

La difficulté de nommer une couleur est particulièrement nette pour la radiation monochromatique de 560 $m\mu$. Celle-ci sera nommée vert-jaunâtre par la plupart des observateurs, mais un certain nombre de personnes la nommeront jaune-verdâtre. Pour les uns, le vert sera prédominant, alors que pour les autres ce sera le jaune.

Le phénomène des complémentaires (41)

Lorsqu'on additionne deux lumières monochromatiques convenablement choisies, on peut arriver, par mélange en proportions convenables, à obtenir du blanc. Il en est ainsi avec un mélange de rouge ($\lambda = 650 \text{ m}\mu$) et de bleu vert ($\lambda = 493 \text{ m}\mu$). On dit que ce bleu-vert est complémentaire de ce rouge. Le blanc obtenu est appelé teinte sensible, car si l'on diminue l'intensité de l'une ou de l'autre radiation, on obtient du bleu-vert ou du rouge. Il existe au milieu du spectre un intervalle de vert spectral qui n'a pas de complémentaire dans le spectre solaire. Sa complémentaire extra spectrale est constituée par les pourpres, c'est-à-dire par un mélange de deux longueurs d'ondes prises l'une dans le violet, l'autre dans le rouge.

Sensation de blanc.

Nous avons vu que la lumière solaire sert comme étalon pratique de lumière blanche. Cette sensation de blanc correspond à l'action simultanée en proportions convenables de toutes les ondes constituant un spectre continu de 700 à 400 $\text{m}\mu$.

Mais cette sensation de blanc pourra être provoquée aussi par une lumière blanche synthétique composée de deux complémentaires, ou de trois lumières monochromatiques (vert, violet et rouge) en proportions convenables. C'est ainsi que l'addition d'un violet-bleu 436 $\text{m}\mu$ et d'un jaune 570 $\text{m}\mu$ donnera à l'oeil la sensation de blanc. Il en est de même pour le mélange d'un bleu-vert 493 $\text{m}\mu$ et d'un rouge 650 $\text{m}\mu$.

Une troisième méthode pourra être utilisée pour provoquer la sensation de blanc. Ce sera l'emploi de blancs d'ordre supérieur.

Mélange de deux lumières monochromatiques quelconques.

Plusieurs cas sont à considérer :

- 1°) Le mélange de deux complémentaires donnera une sensation de blanc si les proportions sont convenables.
- 2°) Le mélange des mêmes lumières monochromatiques complémentaires en proportions quelconques donnera une lumière colorée équivalente à un mélange de blanc et d'une des deux lumières monochromatiques.
- 3°) Le mélange de deux lumières monochromatiques quelconques en proportions quelconques donnera une lumière colorée équivalente à un mélange de blanc et d'une lumière monochromatique de longueur d'onde intermédiaire.

4° Par exception au cas précédent, le mélange d'une lumière monochromatique violette avec une rouge donnera un pourpre, qui n'est équivalent à aucune lumière spectrale.

Saturation des mélanges.

Il existera toujours une légère différence entre une lumière monochromatique et une lumière donnant la même sensation, mais obtenue par mélange de deux autres. La couleur obtenue sera dite moins saturée ; on obtiendra le même résultat en ajoutant de la lumière blanche solaire à la lumière monochromatique. C'est ainsi que le mélange d'un rouge (665 mμ) et d'un vert (536 mμ) donne à l'oeil une impression de jaune (589 mμ) ; pour que l'impression soit identique, il faudra ajouter à ce jaune spectral (589 mμ) une certaine proportion de lumière solaire ou équivalente.

Il sera donc possible de donner à l'oeil une sensation équivalente à n'importe quelle lumière colorée complexe à l'aide d'une lumière monochromatique additionnée de blanc solaire s'il s'agit d'une couleur du spectre, et de deux lumières monochromatiques additionnées de blanc solaire dans le cas d'un pourpre.

Caractéristiques physiologiques d'une lumière complexe.

Les mêmes termes sont utilisés pour la caractérisation des lumières et des pigments. L'impression reçue par l'oeil étant de même nature. Les termes employés pour définir les sensations visuelles ont été toutefois très variés et ont souvent prêté à confusion. Nous essaierons de les préciser et nous indiquerons ensuite les caractères essentiels qui différencient lumières et pigments. Les couleurs ont d'abord été définies chacune par trois qualités, qui sont le ton, la saturation et l'intensité :

le ton, ou tonalité, qui correspond à la longueur d'onde monochromatique à ajouter à du blanc et qui correspond dans le langage courant à la "teinte" ou à la "couleur", ou encore à la "nuance". Dans le cas du pourpre, il faut ajouter deux longueurs d'onde pour définir le ton.

la saturation dépendant de la proportion de blanc entrant dans ce mélange synthétique d'une radiation monochromatique avec la lumière blanche ;

l'intensité, qualité assez mal définie et qui varie d'un auteur à l'autre. En toute rigueur, elle ne peut être correctement définie que par référence au mélange équivalent de blanc et d'une lumière monochromatique. Il faut alors définir l'intensité par deux facteurs : l'intensité de la lumière blanche et celle de la lumière monochromatique.

Le fait de donner des significations différentes à un même terme ayant créé une grande confusion sur la question, on emploie souvent d'autres termes techniques pour désigner les trois qualités d'une lumière colorée :

La couleur, ou tonalité, est la "nuance" des écrits de Chevreul, ou "hue" de Maxwell et des Anglo-saxons.

Chevreul (4), dans ses ouvrages, donne des gammes de référence assez complètes pour qu'il soit possible de définir un pigment coloré par comparaison avec une des gammes, un numéro d'ordre correspondant à chaque plage permettant de désigner la référence. Le cercle chromatique étant complété par une gamme des pourpres, ceux-ci sont à leur tour identifiables

La valeur correspond à la notion d'intensité ; la valeur équivaut au terme de "ton" rencontré dans Chevreul et à celui de "shade" utilisé par Maxwell. (26)

Une plage colorée paraît à l'œil plus ou moins foncée indépendamment de sa couleur, plus ou moins intensément sombre, et c'est cette propriété du pigment que définit la valeur ; ceci correspond à la brillance ou luminance plus ou moins grande d'une source.

La pureté, terme nouveau substitué à celui de saturation, mais qui lui correspond exactement, est l'équivalent du mot "tint" utilisé par Maxwell.

La pureté de saturation dépend de la quantité de blanc contenu dans la couleur pigmentaire : une couleur contenant peu de blanc se rapproche de la couleur spectrale correspondante, elle mérite le qualificatif de couleur saturée ; si, au contraire, il entre dans sa composition une forte proportion de blanc, elle sera qualifiée de couleur lavée.

Il faut noter, par contre, qu'en ajoutant du noir dans la composition d'un pigment, on obtient une atténuation non pas de la pureté mais de la luminance, et le résultat porte le nom de couleur rabattue.

Munsell (29), vers 1910, tenta, à son tour, de définir de manière précise les couleurs pigmentaires. C'était un peintre et professeur de peinture américain qui s'intéressait également à l'aspect scientifique de la question des couleurs.

Il tenta d'établir une gamme permettant par ses graduations de déterminer de manière chiffrable les qualités d'une couleur pigmentaire : c'est ainsi que prit naissance "l'atlas de couleur Munsell", ou "Munsell book of colour".

Les trois qualités nécessaires à la détermination des pigments étaient :

"value" correspondant à la luminosité, ou à la valeur préalable-
ment définie ;

"hue" correspondant au terme de couleur ;

"chroma" correspondant à la saturation, ou pureté.

Munsell peignit une échelle de dix degrés différents de "value" et, par photométrie, en fit déterminer la brillance. Le cercle chromatique fut, à son tour, représenté et divisé en cinq catégories de couleurs : rouge, jaune, vert, bleu et pourpre, correspondant à dix parties égales, divisées chacune en dix subdivisions, le tout donnant une échelle centésimale pour la détermination de "hue". Enfin, une troisième opération consista à peindre chaque "hue" en échelle de saturation décroissante, l'écart entre deux degrés successifs devant avoir la propriété d'être constant pour l'oeil tout au long de l'échelle, cette dernière graduation servant à déterminer la qualité de "chroma".

Munsell aurait voulu pouvoir déterminer à la fois les qualités physiques des couleurs et leur résultante physiologique sur l'oeil, mais il comprit rapidement qu'il ne lui serait pas possible d'arriver à un résultat dans cette voie. Il se borna donc à étudier le problème de la détermination physiologique des sensations colorées.

Nous avons étudié cette théorie, bien qu'elle ait été largement dépassée depuis, car l'Atlas de Munsell a servi de point de départ pour l'établissement d'un test subjectif d'examen de la vision des couleurs sur lequel nous aurons l'occasion de revenir plusieurs fois ultérieurement.

La tentative de Munsell n'ayant pas donné le résultat attendu, c'est à l'aide du seul triangle des couleurs que l'on tente maintenant de définir d'une manière plus "physique" les caractéristiques d'un pigment coloré.

On se rapporte pour cette détermination aux trois qualités suivantes, qui ont été d'abord déterminées pour les lumières colorées non monochromatiques et qui sont :

- la longueur d'onde dominante λ_d , ou longueur d'onde équivalente ; c'est la longueur d'onde de la couleur spectrale qui se rapproche le plus de la lumière étudiée, ou, dans le cas d'un pigment, qui se rapproche le plus de la couleur du pigment. Dans le cas d'un pourpre, c'est la longueur d'onde qui, mélangée à ce pourpre, redonne du blanc.

- le facteur de pureté ; il correspond à la quantité de lumière spectrale à ajouter à de la lumière blanche pour obtenir la couleur que l'on étudie. Ce facteur de pureté se représente par la lettre p.

Pour les pourpres, ce facteur correspond à la quantité de lumière pourpre entrant dans le mélange fait avec de la lumière blanche pour redonner une couleur équivalente à celle que l'on étudie.

- la brillance B, qui correspond à la qualité de la plage lumineuse, à son pouvoir de diffusion de la lumière. On évalue cette brillance en juxtaposant la plage éclairée ou colorée à une plage de brillance étalon, et en égalisant les deux sensations reçues par l'intermédiaire d'un diaphragme qui diminue l'intensité lumineuse reçue de la plage de plus forte brillance.

C. - LUMIERE et PIGMENTS

L'étude de la perception des couleurs n'est possible qu'en distinguant les résultats obtenus par mélange de lumières colorées avec ceux obtenus lors de la reproduction des impressions visuelles par l'homme à l'aide de pigments que la nature met à sa disposition ou qu'il a créés de toutes pièces et dont il étend chaque jour la gamme.

C'est la confusion entre les phénomènes additifs des mélanges de lumières colorées et les phénomènes soustractifs des mélanges des pigments qui est à la base du différend qui opposa Goethe (12) à Newton (33). C'est cette même confusion qui pendant de longues années a compliqué les problèmes, déjà complexes, de connaissance des couleurs et de leur perception par l'oeil.

Nous avons classé dans le paragraphe précédent les lumières colorées et les résultats que l'on pouvait obtenir par leur mélange, nous allons maintenant étudier les pigments colorés.

La distinction la plus nette entre lumières et pigments vient de leur nature. La lumière provient directement d'une source lumineuse. Le pigment est un milieu coloré qui diffuse la lumière. Une lumière colorée suppose une émission énergétique. Un pigment est passif et renvoie seulement tout ou partie de la lumière reçue.

Etude des pigments.

Un pigment est constitué par un solide en grains transparents plus ou moins finement broyés, parfois mis en suspension dans un liquide dans lequel ce pigment

n'est pas soluble ; cette suspension est destinée à être étalée sur un support matériel de nature variable.

La pulvérisation est un facteur important pour la couleur du pigment : un pigment à gros grains paraîtra toujours plus coloré que s'il est broyé finement. S'il s'agit d'une substance de coloration peu intense, un broyage poussé l'amenant à l'état de poudre ténue donnera l'impression de blanc.

Deux phénomènes jouent concurremment :

- d'une part, le fait que les grains du pigment réfléchissent une partie de la lumière blanche qui les éclaire ; or, plus le broyage est poussé, plus cette surface de contact avec la lumière augmente et par là même plus la quantité de lumière blanche réfléchie est importante.
- d'autre part, les grains absorbent de la lumière, mais certaines radiations sont plus absorbées que d'autres ; il y a absorption sélective du pigment en raison même de sa couleur, et l'absorption sera d'autant plus importante que les particules seront plus grosses.

On peut considérer que la couche de pigment fonctionne comme un filtre coloré : ainsi, une couche de pigment étendue sur un fond matériel sera traversée par de la lumière dont elle absorbera une certaine fraction, la lumière non absorbée sera réfléchie par le fond et de là retournera à l'œil de l'observateur.

Couleurs rabattues et couleurs lavées

Ces deux qualifications sont uniquement employées pour caractériser les substances colorées.

On dit qu'une couleur est lavée lorsqu'elle a été additionnée de blanc.

Une couleur est dite rabattue lorsqu'elle est additionnée de noir.

Une couleur lavée réfléchit donc à peu près toutes les radiations, alors qu'une couleur rabattue réfléchit très mal toutes les radiations.

Le mélange additif de deux couleurs donne une teinte lavée de blanc. Le mélange soustractif donne une couleur rabattue.

Représentation graphique des lumières complexes.

Young (49), d'abord, puis Maxwell (26), entre 1852 et 1860, eurent l'idée de procéder au mélange de trois couleurs fondamentales et Maxwell arriva à démontrer

que si l'on prend comme base trois couleurs monochromatiques constantes judicieusement choisies, on peut arriver par mélange à reproduire toutes les autres couleurs avec une approximation suffisante.

Maxwell choisit comme radiations fondamentales un rouge (630 $m\mu$), un vert (528 $m\mu$) et un bleu (457 $m\mu$) ; il utilisa, pour les mélanges de lumières, le colorimètre à synthèse trichrome, dit aussi "colour box", qui, par ses fentes à largeur réglable, permettait d'évaluer la proportion de chaque radiation dans le mélange ; il utilisa aussi des disques tournants portant des sections colorées par des pigments et dont on pouvait modifier la surface apparente.

Il fut également le premier à réaliser, dès 1860, un étalonnage du spectre, démontrant ainsi que la saturation des extrémités du spectre est plus grande que la saturation de la partie centrale. On lui doit aussi la représentation des couleurs sous forme d'un triangle équilatéral dont chaque sommet était occupé par une des couleurs primaires, et le centre par le blanc correspondant au mélange de ces trois primaires. Ce triangle de Maxwell, qui a marqué une étape dans l'étude des couleurs et dans la recherche du lieu spectral des lumières monochromatiques, est maintenant pratiquement abandonné en faveur de la représentation de la C. I. E.

Maxwell avait construit le premier triangle des couleurs en choisissant expérimentalement trois longueurs d'onde à partir desquelles la synthèse du blanc pouvait se refaire. On reprit cette représentation en fixant pour les trois primaires des valeurs différentes, à savoir : rouge : 700 $m\mu$, vert : 546,1 $m\mu$, et bleu : 435,8 $m\mu$. On compléta cette représentation par l'établissement de la courbe des couleurs spectrales qui tient compte justement du fait que la partie centrale du spectre est moins saturée que ses extrémités, et que ces zones de moindre saturation ne peuvent donc coïncider avec le triangle des couleurs. Celui-ci prend le nom de triangle X Y Z défini par la C. I. E., en 1931 (Fig. 3).

C'est en se basant sur des mesures récentes de Guild (15) et Wright (46 & 47) que cette Commission décida d'abandonner la représentation de Maxwell en faveur d'une plus conforme aux dernières découvertes de la colorimétrie.

On part d'un espace chromatique délimité par trois axes de coordonnées issus d'un point commun et faisant entre eux des angles égaux.

Les couleurs spectrales primaires ont reçu respectivement les valeurs suivantes :

700	$m\mu$	X = 2,7689	Y = 1	Z = 0
546,1	$m\mu$	X = 0,38159	Y = 1	Z = 0,012 307
435,8	$m\mu$	X = 18,801	Y = 1	Z = 93,066

On peut choisir de représenter le triangle $X Y Z$, soit par un triangle équilatéral, soit par un triangle rectangle et, dans ce dernier cas, on peut assigner aux sommets $X Y Z$, trois positions différentes, ce qui amène à trois possibilités de représentation ; le type d est le plus communément admis en France.

On a donc le triangle $X Y Z$; le point figuratif des rouges $700 \text{ m}\mu$ se trouve sur le triangle ainsi que le point figuratif du violet extrême visible $380 \text{ m}\mu$, entre ces extrêmes la courbe des couleurs spectrales plus ou moins détachée du triangle.

Entre 700 et $380 \text{ m}\mu$, une ligne droite qui figure la ligne des pourpres ; enfin, un point central W correspond au blanc étalon (qui se représente parfois aussi par E).

On a généralement tendance à simplifier les représentations en supprimant l'hypoténuse du triangle rectangle ; la figure obtenue prend alors le nom de diagramme des couleurs.

Ces modes de détermination des couleurs permettent de définir d'une manière physique précise, et donc objective, toute lumière ou pigment coloré.

On a complété ultérieurement ces modes de représentation en y ajoutant les courbes à facteur de pureté constant (p). Chacune de ces courbes est le lieu des couleurs dont le facteur de pureté est le même. On ajoute aussi sur la même représentation les courbes de longueur d'onde dominante (λ_d) constante ; ce sont des droites issues de la courbe des couleurs spectrales et qui concourent au point W . Tous les points d'une même droite correspondent à la même λ_d plus ou moins lavée de blanc.

On a adjoint, enfin, une dernière représentation basée sur la physiologie, en introduisant à l'intérieur du triangle les courbes "à facteur de pureté d'excitation" (σ) constant. Ces courbes sont le lieu des couleurs qui produisent sur l'oeil la même impression d'intensité de couleur.

Les courbes p et σ ne se confondent pas, ce qui montre les difficultés importantes auxquelles on se heurte dans le domaine de la colorimétrie, soit objective, soit subjective.

L'inconvénient de ce mode de représentation est de très bien définir une lumière ou une couleur mais de n'en donner aucune représentation subjective. Aussi on s'est efforcé depuis longtemps d'établir, pour le repérage des couleurs, des gammes représentant d'abord les couleurs du spectre solaire, puis des cercles chromatiques.

Atlas de couleurs et cercles chromatiques

C'est à Rood que l'on doit le premier cercle chromatique scientifique, qu'il établit après de nombreuses et minutieuses mesures et qui fut repris et réétudié par Chevreul.

On trouve les couleurs réparties en deux groupes : les couleurs "chaudes de mode majeur", allant du pourpre rougeâtre au vert-jaune, et les couleurs "froides de mode mineur", allant du vert-bleu au pourpre violacé. Dans une telle reproduction, les couleurs se trouvent opposées à leur complémentaire.

Pour permettre une détermination satisfaisante du "ton" (qualité reconnue alors), les premières gammes de couleur représentant le spectre étaient insuffisantes ; le cercle chromatique de Rood amena une réelle amélioration, car la gamme des couleurs était beaucoup plus étendue, mais c'est à Chevreul qu'on doit les tableaux complets et présentant les caractères indispensables à une bonne série de repérage à savoir :

- d'être complète, c'est-à-dire de contenir non seulement un ensemble de "ton" ou "couleur" suffisant, mais de posséder chaque couleur sous toutes les "valeurs" décelables à l'oeil.

Il faut, enfin, posséder, à partir de la série ainsi établie, toutes les couleurs lavées de blanc et celles rabattues de noir qui en dérivent.

- d'être solide comme couleur, et c'est là peut-être la condition la plus difficile à réaliser, les gammes étant constituées avec des pigments dont certains sont fragiles et devant, de plus, subir des éclairages puissants pendant des périodes d'examen assez longues.

Cependant, les cinquante dernières années ont amené de gros progrès dont auront bénéficié également les tests subjectifs utilisés pour le dépistage des anomalies de la vision des couleurs. (14 - 24).

L'Atlas actuellement le plus utilisé est celui de Farnsworth. Il se présente sous la forme d'un hexagone dont le centre est occupé par les gris. Les côtés correspondent aux couleurs saturées, l'intérieur aux couleurs rabattues, et les angles aux mélanges de couleurs. Ces couleurs sont numérotées et correspondent à des caractéristiques définies par la C. I. E.

Etude des colorimètres permettant des mesures précises

Dans cette catégorie, nous allons étudier des appareils de laboratoire de type perfectionné et qui, bien que conçus d'abord pour vérifier les lois de Grassmann par l'étude des mélanges de luminances pures et par superposition de lumière blanche à certaines lumières monochromatiques, ont été utilisés, dans certains cas, pour le dépistage des anomalies de la vision des couleurs.

Pour une égalisation donnée, un oeil normal doué de tri-variance ne trouvera qu'une solution possible ; un oeil divariant, c'est-à-dire l'oeil d'un sujet anormal - qu'il soit protanope, deutéranope, ou tritanope - trouvera au moins deux solutions possibles; enfin, l'oeil achromatopsique confirmera toute égalisation pourvu que les brillances soient équivalentes.

Colorimètre de Nutting (34). - C'est le premier en date des appareils que nous étudions ici, il fut construit en 1913 et destiné aux recherches de laboratoire sur les propriétés des mélanges de lumières spectrales. Il permet particulièrement de vérifier qu'il y a équivalence entre une lumière quelconque et la somme de deux lumières dont l'une est une lumière spectrale pure et l'autre de la lumière blanche (Fig. 4).

L'appareil se compose des éléments suivants :

- 1°) Deux objectifs aux foyers desquels se trouvent deux fentes : l'une F étant la fente d'entrée éclairée par une lampe à incandescence, et l'autre F' la fente de sortie derrière laquelle se place l'observateur.
- 2°) Entre les deux objectifs se trouve un prisme de Broca P ; ce dispositif donne la même déviation qu'un prisme de 60° normal mais présente sur celui-ci l'avantage d'être toujours au minimum de déviation.
Ce prisme de Broca, monté sur un plateau mobile, peut tourner de telle sorte que, quelle que soit la longueur d'onde de la source lumineuse, le rayon émergent sorte perpendiculairement au rayon incident. Le mouvement de rotation de ce plateau est commandé par un bouton qui lui est solidaire (B).
- 3°) Une lampe produisant de la lumière blanche étalon W dont la luminance est réglée par deux nicols ; on envoie cette lumière dans le prisme de Broca après réflexion sur une glace semi-argentée.
- 4°) Une source produisant la lumière étudiée au cours de l'expérience.
- 5°) Un cube de Lummer-Brodhun C, celui-ci étant composé de deux prismes accolés par l'hypothénuse ; entre ces deux prismes se trouve emprisonnée une couche d'air créant ainsi une solution de continuité, sauf au centre où une goutte de Baume du Canada rétablit la continuité optique ; son indice de réfraction étant le même que celui du verre.

L'observateur aura donc deux plages en face de lui : une centrale, correspondant au passage des deux lumières superposées ; une périphérique, correspondant à la réflexion de la lumière étudiée.

Par rotation du disque portant le prisme, on modifie l'angle d'incidence et il semble que défile devant la fente d'entrée toutes les longueurs d'onde du spectre. On peut, par simple rotation, trouver la lumière spectrale qui, par addition à la lumière blanche étalon, donne, pour l'oeil, la même impression que la lumière sur laquelle on opère.

Cet appareil donnera des possibilités de classification de sujets anormaux en choisissant comme source lumineuse à examiner une source jaune provenant de l'addition de lumières rouge et verte : dans ce cas, les sujets anormaux suivant leur type n'égaleront pas avec la même longueur d'onde prise dans le spectre.

Ici, comme dans le cas de l'anomaloscope de Nagel, les trichromates anormaux donneront une seule réponse différente de celle des sujets normaux et qui sera confirmée par tout sujet dichromate se rapprochant de leur type. Les anormaux donneront par eux-mêmes au moins deux réponses d'égaleisation possible.

Colorimètre de Wright (48). - Cet appareil a été mis au point en 1927 et permet d'obtenir des lumières parfaitement monochromatiques et de forte luminance favorables à l'expérimentation (Fig. 5).

L'appareil se compose des éléments suivants :

- 1°) Une lampe à filament de tungstène placée derrière une fente F.
- 2°) Un système constitué de deux prismes à angle au sommet de 60° qui disperse le faisceau lumineux incident.
- 3°) Une lame dont la moitié supérieure est argentée et qui est inclinée à 45° sur le faisceau lumineux qui émerge du système dispersif. Ce rayon lumineux va se trouver alors divisé en deux faisceaux secondaires, l'un provenant du passage à travers la partie restée transparente de la lame, l'autre provenant de la réflexion sur la partie argentée.
- 4°) Deux systèmes de prismes réflecteurs recevant chacun un des faisceaux de lumière transmis par la lame. Ces prismes réflecteurs fonctionnent par deux réflexions totales, ce sont des prismes à section rectangulaire isocèle qui peuvent être utilisés dans deux montages différents :
 - a) Tout rayon entrant normalement par un des côtés et tombant sur l'hypoténuse émerge perpendiculairement à sa direction incidente.

- b) Tout rayon arrivant perpendiculairement à l'hypoténuse et tombant sur un des côtés inclinés à 45° subit une double réflexion totale et émerge parallèlement à sa direction incidente.

C'est ce deuxième type de montage qui est utilisé dans le colorimètre que nous étudions.

Le premier système de ces prismes reçoit la lumière réfléchie par la partie argentée de la lame ; le second système, constitué par trois prismes au lieu de deux dans le premier cas, reçoit la lumière qui a traversé la lame. Chacun de ces prismes reçoit et renvoie une certaine portion du spectre ; le chemin du retour des rayons est parallèle au chemin incident mais légèrement déplacé vers le bas. Ces rayons rencontrent un prisme à réflexion totale qui dirige alors la lumière vers la fente de sortie.

L'ensemble des prismes à 60° , des prismes réflecteurs et du prisme à réflexion totale constitue un monochromateur double fonctionnant par aller et retour.

La fente de sortie permet d'isoler dans les trois fractions du spectre venant de S et dans les deux venant de S' des radiations pratiquement monochromatiques.

Le champ d'observation de l'appareil est une surface carrée de deux degrés de côté : dans la partie supérieure se superposent les trois radiations primaires choisies, dans la partie inférieure on additionne une des primaires et la lumière monochromatique sur laquelle on expérimente. Wright a choisi les valeurs suivantes pour ses radiations primaires :

$$\lambda_1 = 650 \text{ m}\mu \qquad \lambda_2 = 530 \text{ m}\mu \qquad \lambda_3 = 460 \text{ m}\mu$$

Le sujet devra arriver à égaliser en agissant sur les boutons commandant les coins absorbants placés devant les prismes réflecteurs.

Colorimètre de Guild (16). - Dans ce nouvel appareil, les primaires ne sont plus rigoureusement monochromatiques, ce sont des lumières colorées quelconques.

Les premières expériences de Guild sont à peu près contemporaines de celles de Wright. Son appareil se compose essentiellement d'un secteur de Brodhun, dispositif permettant les mélanges additifs de couleurs.

Mélangeur de Brodhun. - On a un système de deux prismes P et P' mobiles autour de l'axe X Y, ils sont animés d'un mouvement de rotation très rapide. Entre les deux prismes se trouve interposée une séparation C D dans laquelle sont ménagées des ouvertures F et F' munies de filtres colorés et d'obturateurs dont on peut régler la position en fonction de l'intensité lumineuse à obtenir.

Dans l'appareil de Guild, ce système est simplifié : on dispose d'un faisceau lumineux assez large et on n'utilise qu'un seul prisme rotatif placé en arrière de la paroi munie de ses obturateurs.

L'appareil comprend également une lampe à incandescence et une grosse lentille collectrice qui dirige la lumière sur la plaque de séparation perforée. Faisant suite, on trouve un cube de Lummer à travers lequel l'observateur examine le prisme tournant.

Ce dernier projette tour à tour les trois primaires, mais grâce à la rapidité de sa rotation et à la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, tout se passe comme si les trois faisceaux frappaient l'oeil en même temps. Il y a alors addition des couleurs et le cube de Lummer donne justaposées : d'une part, cette superposition des trois primaires, d'autre part, la lumière étalon de la lampe à incandescence transmise par les miroirs plans inclinés à 45° .

L'observateur devra procéder à une égalisation entre les deux plages qu'il observe en agissant sur les obturateurs des fentes, c'est-à-dire en modifiant les proportions respectives des trois primaires.

Colorimètre de Donaldson. - (8) Cet appareil, construit en 1935, comprend un élément nouveau en colorimétrie trichromatique : c'est la sphère intégrante. Cette sphère creuse, percée d'un orifice d'entrée toujours réduit par rapport à sa dimension, est recouverte à l'intérieur d'un enduit blanc, composé le plus généralement par un produit à base de magnésie ; elle constitue un diffuseur à peu près parfait de la lumière. (Fig. 6).

Les trois faisceaux lumineux correspondant aux primaires entrent dans la sphère par la même ouverture ; par suite des diffusions multiples qu'ils y subissent, ils s'y mélangent et ressortent par une seconde ouverture qui a été ménagée à cet effet sur un axe perpendiculaire à celui de la fente d'entrée.

Entre la lampe à incandescence et la sphère se trouve disposé un écran muni de filtres colorés pouvant être masqués à volonté à l'aide de tirettes mobiles.

Un cube de Lummer, placé sur le chemin de sortie de l'appareil permet de comparer le mélange des trois lumières à une radiation monochromatique de longueur d'onde connue.

Ici encore le sujet devra procéder à l'égalisation en se servant des tirettes qui permettent d'introduire une plus ou moins grande proportion de chaque lumière dans le mélange.

Ces colorimètres de laboratoire permettent de démontrer le principe de la trivariance de l'oeil humain, principe qui peut s'exprimer de la manière suivante :

"Une lumière blanche peut toujours être reproduite par la somme algébrique de trois flux monochromatiques primaires".

On peut aussi exprimer le principe suivant :

"L'aspect d'une radiation colorée complexe peut toujours être reproduit par un mélange de trois radiations particulières, dites primaires."

Ces stimuli primaires ont été déterminés au début par tâtonnement, en opérant sur un nombre important de sujets qui avaient pu présenter aux tests une vision des couleurs normale.

Maintenant, on préfère vérifier les résultats admis autrement par une méthode qui ne soit pas subjective et qui soustraie le résultat à toute erreur pouvant provenir d'un fonctionnement défectueux de l'oeil. C'est la raison pour laquelle on utilise de plus en plus les comparateurs photoélectriques.

Comparateurs photoélectriques (Fig. 7). - Une cellule photoélectrique remplace l'oeil de l'observateur, éliminant ainsi les erreurs fortuites dues à l'opérateur.

On a une source lumineuse sur le faisceau de laquelle on dispose un prisme qui disperse la lumière en donnant un spectre ; à la suite de ce prisme se trouve un objectif.

Dans le plan du spectre, on dispose un écran opaque percé d'une fente correspondant comme position à la longueur d'onde désirée et ayant une hauteur convenable. Cet écran porte le nom de "masque" ; contre ce masque, on dispose une lentille qui recueille la lumière sortant du masque et la condense sur la cellule photoélectrique qui se trouve placée à son foyer.

Ainsi donc la lumière entrant par la fente S est transformée en rayons parallèles par la lentille L_1 , dispersée par le prisme P, recueillie par la lentille L_2 qui permet d'obtenir le spectre dans des conditions suffisantes de netteté ; après passage à travers le masque, la lentille L_3 donne une image ponctuelle de la fente sur la cellule C.

La hauteur du masque est calculée en fonction de la réponse de la cellule qui est généralement une cellule photoémissive argent-potassium, qui donne un courant électrique proportionnel au nombre de photons reçus.

On peut, par cette méthode non empirique, ni subjective, évaluer la quantité exacte de chaque fondamentale entrant dans un mélange de lumières colorées.

En aucun cas, les comparateurs photoélectriques ne peuvent servir pour le dépistage ; nous en avons parlé ici uniquement pour montrer que de nos jours on sait contrôler les résultats obtenus expérimentalement.

Nous savons déjà que les mélanges de couleurs peuvent être, suivant les cas, additifs ou soustractifs ; outre les colorimètres optiques que nous venons de voir, et qui sont des appareils fonctionnant suivant le principe des mélanges addi-

tifs, il existe aussi quelques appareils qui fonctionnent en appliquant le principe des mélanges soustractifs. Ces appareils, qui sont utilisés dans les laboratoires pourraient être employés pour comparer les réponses d'égénéralisation de couleurs des sujets normaux et des sujets anormaux.

Appareil de Judd (21). - Ce colorimètre est généralement utilisé pour évaluer les faibles différences de coloration entre des couleurs de même composition. (Fig. 8).

Une lampe unique éclaire l'échantillon à mesurer et une surface réfléchissante de référence ; les rayons issus de chaque surface sont recueillis et, après passage à travers un système de Lummer, se répartissent sur deux moitiés du champ visuel, ce qui permet à l'observateur une égalisation précise des deux plages.

Pour effectuer une mesure, on place d'abord une surface standard d'intensité de coloration connue et de même couleur que l'échantillon à examiner. La surface de référence est une surface réfléchissante blanche généralement enduite de magnésie ; pour amener sa coloration à être identique à celle du standard, il faut introduire deux coins de verre colorés d'épaisseur variable que l'on enfonce plus ou moins jusqu'à ce que l'égénéralisation soit obtenue.

On remplace alors le standard par l'échantillon à mesurer et on modifie la position des coins jusqu'à ce qu'une nouvelle égalisation soit obtenue.

Des positions respectives des coins colorés, on peut déduire le rapport entre l'intensité de coloration du standard et celle de l'échantillon.

Appareil de Lovibond-Schofield (43). - Alors que dans l'appareil précédent on n'utilisait que deux filtres colorés pour transformer la lumière blanche diffusée par la surface de référence en une lumière identique à celle diffusée par l'échantillon coloré, ici on utilisera au choix, soit deux filtres colorés pour obtenir une égalisation de couleur, soit trois filtres de verre coloré qui seront traversés successivement par la lumière, ce que l'on cherchera alors à avoir sera une teinte neutre grisâtre.

Les trois couleurs de base choisies pour les filtres sont : le jaune, un rouge particulier qui s'apparente au pourpre-rose (le magenta) et le bleu-vert

Examinons ce qui va se passer quand un rayon lumineux incident va successivement traverser ces trois filtres.

Il faut que la lumière-blanche incidente choisie possède une égale distribution spectrale énergétique ; après passage à travers le filtre jaune, qui a une absorption maximum dans le bleu, elle va posséder une nouvelle répartition énergé-

tique et le rayon sortant sera coloré en jaune. Par passage à travers le filtre magenta, une nouvelle absorption de la lumière va se produire ; en effet, ce filtre arrête pratiquement tout dans le vert et le jaune, et la lumière sortant du filtre paraîtra rouge. Après avoir traversé le filtre bleu-vert enfin, comme celui-ci a son maximum d'absorption dans le rouge, le rayon lumineux paraîtra d'une teinte neutre tirant sur le grisâtre, celle-ci pouvant d'ailleurs beaucoup varier suivant la densité optique de chacun des filtres colorés utilisés.

La nouveauté de l'appareil réside dans le fait que, pour chacune des primaires soustractives, il existe une série de filtres colorés dont l'intensité de coloration varie d'un filtre à un autre, la différence entre deux filtres voisins correspondant à la plus petite différence perceptible par un oeil normal.

Ces filtres sont classés par intensité de coloration croissante, et chaque série est rangée sur une glissière, ce qui permet à chaque filtre de passer à son tour dans le champ visuel de l'appareil. Les filtres de chaque série sont numérotés en commençant par le moins intensément coloré.

Les filtres sont calculés pour que dans chaque série un filtre quelconque corresponde comme coloration à deux ou plusieurs filtres dont le total des numéros d'ordre est équivalent à son propre numéro.

D'autre part, les séries sont construites de telle sorte que, en superposant trois filtres portant le même numéro, chacun dans une série, on obtienne la teinte neutre.

Une même lampe, ici encore, éclaire la surface blanche de référence et l'échantillon à examiner ; on fait défiler les filtres colorés dans le champ visuel entre la surface blanche de référence et l'observateur jusqu'à ce que celui-ci ait obtenu l'égaleisation de teinte avec l'échantillon.

Il est à noter que les appareils fonctionnant suivant le principe des mélanges additifs donnent seuls des résultats qui puissent directement se porter dans les équations mathématiques.

Cependant, une transformation du "Lovibond-Tintometer" due à Shofield, permet d'utiliser cet appareil pour l'évaluation des couleurs en unités internationales.

On a, pour cela, tiré toutes les courbes de transmission des filtres des trois séries au spectrophotomètre enregistreur, et on a calculé les coordonnées internationales de toutes les associations possibles des filtres deux à deux.

L'appareil s'utilisera alors comme l'appareil de Judd, on arrivera à l'égaleisation entre l'échantillon coloré et la surface réfléchissante par interposition de deux filtres colorés, mais, grâce à la modification de Shofield, les résultats seront moins empiriques.

CHAPITRE I I

A. - VISION NORMALE DES COULEURS

Il est très difficile de définir dans quelles conditions l'oeil d'un observateur pourra être considéré comme normal. Il est entendu que nous nous occuperons uniquement de vision des couleurs et non des amétropies de la vision.

Si l'on voulait définir comme normal un oeil dont les caractéristiques correspondraient exactement aux caractéristiques "moyennes" définies par la C. I. E. on chercherait en vain un oeil normal.

Un oeil devra donc être considéré comme normal lorsque ses caractéristiques ne s'écartent que faiblement des moyennes adoptées.

Cette courbe moyenne, dite courbe du "Bureau of standard", est une courbe de sensibilité liminaire. Elle a été déterminée en vision photopique et en vision scotopique. L'axe des abscisses correspond aux longueurs d'onde, l'axe des ordonnées à l'inverse de l'intensité lumineuse. La valeur 1 est donnée arbitrairement à la longueur d'onde de plus grande sensibilité et les valeurs de seuil des autres longueurs d'onde sont déterminées par rapport à celle-ci. On obtient alors une courbe en cloche dont le maximum de sensibilité se trouve à 555 $m\mu$ en vision photopique et 510 $m\mu$ en vision scotopique.

B. - VISION ANORMALE DES COULEURS

Certains auteurs anciens, et Priestley en particulier dès 1777, avaient soupçonné qu'il devait exister une défaillance du sens chromatique, mais c'est le savant Dalton (5), lui-même atteint de cette infirmité, qui donna, en 1795, la première description à peu près nette d'une dyschromatopsie.

Ayant souvent remarqué des divergences d'opinion entre son entourage et lui-même au sujet des couleurs, il les avait attribuées à des insuffisances de termi

nologie. Par la suite, ayant eu à s'occuper de Botanique, il remarqua des opinions si différentes entre ses collègues et lui, qu'il se pencha sur ce problème avec plus d'attention.

Il remarqua alors que, pour lui, le spectre se composait de deux zones importantes : l'une qu'il nommait rouge à une extrémité, et l'autre qu'il nommait bleue, à l'autre extrémité ; entre elles, une mince bande, jaunâtre, à son avis.

Dalton nota aussi que, pour lui, le rouge manquait de luminosité. "Par contre, ajoutait-il, le point du spectre où le vert se confond avec le bleu m'offre un contraste des plus saillants, une différence nette, du reste du spectre." Ailleurs, on note qu'il dit aussi : "Le sang, pour moi, ressemble au vert sombre des bouteilles".

Il est remarquable aussi que le père de Dalton ait présenté également une anomalie de la vision fort semblable et dont le fils parle parfois dans son oeuvre.

L'explication donnée à l'époque par Dalton de son anomalie aurait été que les milieux de l'oeil jaunissaient avec l'âge et dénaturaient les couleurs en les transmettant à la rétine.

Seebeck se consacra, à partir de 1830, à l'étude de la cécité chromatique partielle ; il en distingua alors deux sortes : la cécité pour le rouge, et la cécité pour le vert.

Goethe (12), qui avait également abordé l'étude des anomalies en même temps que celle des couleurs, rencontra et étudia le cas d'un sujet présentant une cécité marquée au bleu.

On se trouva alors en présence de trois types d'anomalies nettement déterminées qualitativement ; on devait s'y tenir pour de longues années, bien que certains auteurs aient nié l'existence de la cécité au bleu.

En 1839, Maria Bodoka devait tenter de reproduire artificiellement la cécité pour le rouge ; en portant plusieurs heures des lunettes rouges, elle détruisit la sensibilité de la rétine pour toutes les radiations de cette couleur. Regardant alors un spectre, elle se rendit compte qu'il ne s'y distinguait plus que deux zones, l'une correspondant au bleu, l'autre au jaune.

Plus tard, en 1881, Lord Rayleigh (40) devait se rendre compte qu'entre les sujets parfaitement anormaux et les sujets à vision colorée normale, il existait une catégorie d'individus pseudo-normaux, dits aussi "anormaux" qui, sans présenter des phénomènes de cécité pour certaines couleurs, semblaient cependant moins bien les distinguer et avoir pour les faibles éclaircissements de la difficulté à les différencier les uns des autres.

Dans cette nouvelle catégorie d'anomalie semblait donc intervenir un facteur quantitatif qui tantôt se faisait sentir dans la zone rouge, tantôt dans la zone verte.

Le nom de daltonisme fut longtemps donné sans distinction à toute anomalie de la vision des couleurs. Cette habitude doit être abandonnée et on doit employer le terme général de dyschromatopsie pour définir les anomalies diverses qui peuvent affecter l'oeil en tant que perceuteur de couleurs.

Il existe en outre chez des individus trichromates des phénomènes anormaux atténués : ces sujets sont maintenant qualifiés de trichromates anormaux.

Trois classifications sont admises de nos jours :

Classification classique

Trichromates	normaux	sensibilité égale aux trois composantes
	anormaux	- Protanomaux.. Sensibilité minima pour le rouge - Deutéranomaux - le vert - Tritanomaux.. - le bleu
Dichromates	protanopes	sujets aveugles pour le rouge
	deutéranopes	- vert
	tritanopes	- bleu
Monochromates	Aveugles par les cônes ou ne possédant qu'une seule sorte de cônes	
	Cônes insensibles aux couleurs	

Classification de Ishihara (20)

Cécité chromatique	totale	Achromatopsie totale	
		Dyschromatopsie totale : cécité au rouge et vert	
	partielle	Rouge	- Protanopie : cécité accentuée - Protanomalie : cécité peu accentuée
		Vert	- Deutéranopie - Deutéranomalie

Classification de Polack (39)

Type normal.	
Type Dalton	(protanope)
Type Seebeck-Nagel	(deutéranope)
Type Harris	(achromatopsique)
Type Balfour-Rayleigh	(anomaux)

Une étude approfondie des anomalies et des examens renouvelés de sujets anormaux montrent combien ces classifications sont arbitraires.

Un sujet type dalton vrai, c'est-à-dire protanope, se classe facilement, mais pour les autres anomalies le classement dans l'une ou l'autre des catégories devient beaucoup plus difficile.

Enfin, il est net qu'entre l'anormal véritable et de type bien établi, et le sujet parfaitement normal, toutes les anomalies et tous les degrés d'anomalies existent, expliquant les difficultés d'une classification nette et précise. Nous y reviendrons par la suite.

Wright s'est attaqué au problème de la classification, et en 1945 il a tenté de donner des définitions nettes et des descriptions précises de types d'anomalies.

D'après sa description, un dichromate est un sujet qui peut égaliser toute lumière spectrale par un mélange de deux lumières monochromatiques.

Le dichromate correspondant au premier type décrit par Dalton est le Protanope : ce sujet a une perte notable de sensibilité dans la zone des grandes longueurs d'onde du spectre, et il confond en une bande unitonale la région du rouge, de l'orangé, du jaune, et parfois du vert-jaune. Dans la zone des courtes longueurs d'onde la vision est normale ; toutefois, pour les longueurs d'onde situées sensiblement autour de $490\text{ m}\mu$, il y a une bande qui paraît presque incolore et que le sujet associe au gris très pâle. Il est à noter que, du fait de la perte de sensibilité dans le rouge, les rouges extrêmes ne sont pas perçus et que le spectre se trouve nettement amputé ; le maximum de sensibilité se trouve transporté du côté des courtes longueurs d'onde, il se place généralement entre 535 et $540\text{ m}\mu$.

Le dichromate correspondant au type décrit en premier par Nagel est le Deutéranope : ce sujet a une perte de sensibilité assez nette dans les courtes longueurs d'onde qu'il a tendance à confondre plus ou moins ; sa discrimination dans la zone orangé et rouge est également assez faible. Ce qui est à noter, c'est qu'il n'y a pas de raccourcissement du spectre, simplement manque de sensibilité et de discrimination ; le maximum de sensibilité ne varie pas par rapport à sa position chez un sujet normal.

Par raisonnement logique, Wright est arrivé à la conclusion que, puisqu'il existait une dyschromatopsie caractérisée pour le rouge, une autre qui semblait provenir du récepteur vert, il pouvait y en avoir une se rapportant au récepteur bleu. Il nomme le sujet atteint de cette anomalie Tritanope.

Ce sujet voit le jaune comme une zone incolore ; il semble que, pour lui, une autre zone non colorée se situe dans les bleus. Le manque de discrimination se fait sentir entre l'orangé et le pourpre rouge, ainsi qu'entre l'indigo et le vert-jaune. Des examens de sujets anormaux avaient déjà été faits par König et, dès 1903, il avait donné une étude de sujets correspondant précisément à ce type.

Beaucoup d'auteurs modernes ont tendance à abandonner le terme de protanope pour celui d'aveugle au rouge, qui exprime beaucoup mieux la gêne ressentie par le sujet, car il semble, en effet, que tout se passe comme si le récepteur R était absent.

Par analogie avec le cas précédent, on substitue au terme de deutéropope celui d'aveugle au vert ; il est toutefois moins facile d'associer ce type de dyschromatopsie à une disparition du récepteur G ou à son non-fonctionnement, et, devant la confusion des teintes dans les deux régions extrêmes du spectre, certains auteurs s'interrogent pour savoir s'il n'y aurait pas ici plutôt un phénomène de fusion entre les voies de transmission des sensations rouges et vertes.

Enfin, pour pousser l'assimilation des trois types sur un schéma commun jusqu'au bout, on appellera le sujet tritanope aveugle au bleu.

D'autres auteurs, Judd (21) et Motokawa (28) en particulier, admettent l'existence d'aveugles au jaune, appelés tétartanopes.

Wright a, de plus, envisagé le cas des trichromates anormaux : ces sujets n'ont pas de zone unitonale ou incolore dans le spectre mais une des composantes est déficiente, ce qui leur provoque une gêne notable dans toute épreuve d'égaleisation trichromatique de teinte.

Ce qui est à remarquer, c'est que ces sujets sont souvent ignorants de leur anomalie, car, dans la vie courante, elle ne les gêne absolument pas.

Par analogie avec la terminologie en usage pour désigner les dyschromatopsies, on nommera les trichromates anormaux : sujet Protanomal s'il y a déficience du récepteur R, sujet Deutéranomal s'il s'agit du récepteur G, et sujet Tritanomal s'il s'agit du récepteur B.

Wright, enfin, reconnaît qu'il existe quelques sujets achromatopsiques, qu'il nomme monochromates, et qu'il considère comme aveugles, soit par les cônes, soit par les bâtonnets.

C. - CAS des SUJETS POSSEDANT un OEIL NORMAL et un OEIL ANORMAL

Les divergences observées dans les descriptions des anomalies sont dues au fait qu'il est impossible de connaître réellement la sensation colorée éprouvée par le sujet anormal ; en particulier lorsque ce sujet nomme une couleur, il n'est pas possible de savoir si l'impression ressentie est la même que pour un sujet normal.

Cependant, certains sujets présentant une anomalie d'un seul oeil ont pu comparer la sensation donnée par l'oeil anormal avec celle de l'oeil normal. Les quelques observations recueillies semblent concerner uniquement le type Nagel ou deutéranope. Dans ce cas, la sensibilité est à peu près la même pour les deux yeux dans le rouge, mais elle est nettement plus faible dans le vert et le bleu. Par contre, si l'intensité lumineuse est suffisante, le sujet nommera correctement les couleurs vues par l'oeil anormal.

D. - IMPORTANCE des CONDITIONS EXPERIMENTALES

Il faut insister sur l'importance des conditions d'expérimentation. Une étude scientifique sérieuse ne sera valable que si le processus expérimental a été fixé d'une manière rigoureuse et effectué toujours par le même expérimentateur.

La vision des couleurs variera, en effet, en fonction de l'éclairement et de la durée du phénomène.

Aux faibles éclairagements, il se produit un déplacement du maximum de sensibilité, qui passe de $555 \text{ m}\mu$ environ à $510 \text{ m}\mu$. Ce phénomène est connu sous le nom d'effet Purkinje ; c'est ce qui a amené à opposer la vision scotopique aux faibles éclairagements à la vision photopique couramment appelée vision diurne. Certains auteurs admettent une vision intermédiaire, appelée vision mésopique.

En vision crépusculaire, il se produit une tendance à l'achromatopsie et le sujet ne perçoit plus que deux teintes qui sont le jaune et le bleu. Ce phénomène est à rapprocher de l'effet Bezold-Brücke qui se produit aux très forts éclairagements. Dans ce cas, l'oeil ne perçoit plus que deux couleurs : un jaune de longueur d'onde $571 \text{ m}\mu$, et un bleu de $474 \text{ m}\mu$; on observe, d'autre part, une zone blanc-grisâtre séparant les deux à $505 \text{ m}\mu$.

Le phénomène est différent lorsqu'on produit un phénomène d'éblouissement par une lumière colorée intense. Lors d'une adaptation de deux minutes, il apparaît dans le bleu une tendance vers le pourpre, alors que les tonalités vertes, jaunes et rouges tendent vers l'orange. On observe ensuite une autre teinte, qui est ou n'est pas complémentairè de la première.

E. - TECHNIQUES de DEPISTAGE et de DIAGNOSTIC des ANOMALIES

Ayant présenté les principales dyschromatopsies, il nous reste à examiner les méthodes qui, très rudimentaires au départ, ont permis un dépistage, d'abord peu sûr, puis, au fur et à mesure, de leur perfectionnement, une détection systématique des sujets atteints d'anomalies de la vision des couleurs.

Au début, des examens furent entrepris sur des employés de chemins de fer, à la suite d'accidents inexplicables : il faut citer comme précurseur de ces dépistages le professeur Holmgreen (19), en Suède qui, sur 266 employés examinés, trouva 19 "daltoniens" jusque-là insoupçonnés.

Les tests utilisés, pour ce dépistage rapide et souvent incomplet, étaient très simples ; il s'agissait avant tout d'une méthode empirique.

On s'avisa alors de l'intérêt scientifique que pourraient avoir des examens nombreux de sujets anormaux, pensant que par cette méthode on pourrait essayer de construire une théorie acceptable de la vision des couleurs.

Des chercheurs construisirent des appareils parfois très complexes ; les résultats obtenus étaient, sans aucun doute, supérieurs à ceux fournis par les tests, mais l'usage en était restreint, car le temps nécessaire pour procéder à un examen complet était long, et la complexité de l'appareillage en limita toujours l'usage à quelques laboratoires spécialisés.

De plus en plus, on s'aperçut de la gêne, parfois importante, que certaines anomalies amenaient dans l'exercice d'un grand nombre de professions, et on prit l'habitude de procéder à un examen de la vision des couleurs dans les grands centres d'orientation professionnelle.

Il ne faut pas manquer de mentionner ici les dépistages très serrés qui sont faits par des spécialistes sur les sujets qui se destinent à la marine, à l'aviation et aux chemins de fer. Ces organismes ont leurs laboratoires spéciaux qui procèdent à une série d'examens successifs, pour éviter qu'une anomalie relativement discrète puisse échapper au triage d'un seul test.

Dans le cas général, on en est revenu à des tests qui permettent une détection rapide sur un groupe de sujets : cette méthode présente encore beaucoup de lacunes, l'usage des tests assez simples risquant de laisser passer une anomalie assez peu caractérisée.

Il manque un appareil d'utilisation plus simple que celle des chromoptomètres ou anomaloscopes, et plus fidèle dans ses résultats que les tests subjectifs.

ETUDE DES TESTS SUBJECTIFS

Ces tests sont basés sur les trois propriétés suivantes :

- 1°) Complémentarité de certaines couleurs.
- 2°) Contraste simultané.
- 3°) Discrimination de couleurs très voisines.

Echeveaux de Holmgreen (19) . -

C'est, sans aucun doute, le plus ancien des tests de cette catégorie, il doit être examiné à la lumière du jour ou, à défaut, sous éclairage qui rende aussi fidèlement que possible la composition de la lumière solaire.

A moins d'anomalies différentes préalablement établies pour les deux yeux, cet examen soit se faire en vision binoculaire.

On présente au sujet à tester un nombre important d'écheveaux de laine dont les teintes sont choisies parmi celles que les anormaux confondent généralement. On doit prévenir la personne que l'on examine que dans tout le lot d'échantillons il n'y en a pas deux qui soient identiques, tous sont différents, soit comme nuance, soit comme intensité de coloration.

Dans une première épreuve, on sort un échantillon du lot et on demande au sujet de placer auprès de lui tous ceux du lot qui lui ressemblent, ensuite on choisit quatre échantillons proches de celui pris comme exemple, on y ajoute quatre ou cinq autres de teintes pouvant se confondre pour des anormaux, et, après les avoir mélangés, on demande au sujet de ressortir ces quatre écheveaux.

Si, dans la première partie de l'épreuve, le sujet mélange des écheveaux de toutes les couleurs, il sera classé comme achromatopsique ; s'il mélange seulement certaines nuances, on pourra en déduire son type d'anomalie.

On procède à plusieurs essais, de manière à pouvoir recouper les renseignements obtenus et à en tirer des conclusions sûres.

1er essai.- On sort un écheveau vert clair auprès duquel le sujet doit placer ceux qui lui ressemblent.

On prend ensuite quatre échantillons verts, proches du premier ; on y ajoute un échantillon de chacune des teintes suivantes : gris, gris-jaunâtre, gris-vert, jaune, jaune-orangé, puis on demande au sujet de ressortir les quatre écheveaux verts.

2ème essai.- On sort un échantillon pourpre, et le sujet doit rechercher ceux qui lui ressemblent ; on en prend ensuite quatre à peu près identiques, on y ajoute un bleu, un rouge, et plusieurs bleu-verts, avant de les faire retrouver par le sujet.

3ème essai.- On recommence avec un écheveau rouge pour le classement ; on mélange ensuite au rouge du brun, du vert clair, du vert foncé, et le sujet doit retrouver les quatre premiers rouges.

Au cours des trois essais le sujet doit opérer rapidement et sans jamais avoir le droit de revenir sur un choix déjà fait, toute hésitation dénote, en effet, une incertitude du sens chromatique.

Si dans le premier essai le sujet ne commet aucune erreur, on peut penser qu'il n'est atteint d'aucune anomalie, on doit cependant toujours effectuer les essais complémentaires.

Un mélange de rouge clair dans le choix au cours du premier essai dénote une anomalie du sens chromatique, mais il est encore impossible de la caractériser.

Dans le cours du second essai, si le sujet met beaucoup de bleus et de violets avec le pourpre, cela dénote une cécité pour le rouge ; s'il met beaucoup d'échantillons bleu-verts, gris et verts, il y a cécité pour le vert ; si, au contraire, la confusion se fait avec des écheveaux jaune et jaune-orangé, il y a cécité pour le bleu.

Au cours du troisième essai, un mélange d'échantillons vert-olive et marron plus ou moins foncé indique une cécité au rouge, alors que la confusion avec des échantillons de la gamme des vert-clairs indique une cécité au vert.

Pour être valable, une collection d'échantillons doit être suffisamment complète pour contenir toutes les couleurs que l'on rencontre dans la vie courante, ces couleurs doivent, de plus, s'y trouver avec des brillances différentes ; enfin, il faut que le passage d'un échantillon à celui qui s'en rapproche le plus soit tout juste perceptible pour un oeil normal.

Les résultats obtenus par cette méthode sont assez satisfaisants, et elle est encore utilisée de nos jours dans certains centres de dépistage. Il y a toutefois un inconvénient, c'est que les échantillons se détériorent rapidement à la lumière et qu'après usage répété les résultats obtenus risquent de ne plus être valables.

Test de Nagel (31) . -

Il est composé de deux séries de tableaux. La première série est formée d'anneaux figurés par des points gris, rouge et vert diversement associés : elle permet de séparer les sujets anormaux des sujets normaux.

Les premiers sujets, en effet, interrogés sur les couleurs des points qu'on leur montre, ne peuvent répondre sans commettre d'erreur.

La seconde série comporte seulement quatre tableaux qui permettront de classer les sujets anormaux, isolés au cours de la première partie de l'épreuve, dans diverses catégories.

Pour que ce test garde toute sa valeur, il faut l'utiliser exactement de la manière indiquée par l'auteur. Cependant, la classification des sujets obtenue de cette manière est loin d'être rigoureuse pour les dichromates et il n'est pas exclu que certains trichromates anormaux puissent échapper au dépistage à l'aide de ce test.

Test de Stilling. -

Il est connu aussi sous le nom de tableaux pseudochromatiques de Stilling.

Des taches diversement colorées et juxtaposées en grand nombre composent le fond de chaque tableau, fond sur lequel se détachent des chiffres formés de points colorés eux aussi.

Les couleurs sont choisies de manière à ce que le sujet anormal confonde l'image du chiffre avec le fond, tandis qu'un sujet normal discerne le chiffre, ou inversement.

Les arrangements de couleurs varient avec chaque planche et, en se reportant à une table faite par l'auteur, on peut arriver à classer les sujets anormaux.

On peut faire à ce test le même reproche qu'au précédent quant à la certitude qu'il donne au point de vue classification. Cependant, il faut reconnaître que l'idée de faire des images qui se confondent avec le fond pour certains sujets, et, grâce à la répartition des couleurs, de pouvoir varier les possibilités de détection, est nouvelle et heureuse. Par la suite, beaucoup d'auteurs de tests s'inspireront de cette méthode pour construire leurs propres séries de planches d'examen.

Test de Ishihara (20)

L'aspect de ce test rappelle beaucoup celui des planches de Stilling ; comme celles-ci, ses tableaux sont formés de points multicolores constituant un fond et des chiffres sur impression (Fig. 1).

Les couleurs du fond et des chiffres sont choisies parmi celles confondues par les sujets anormaux ; souvent il y a deux chiffres superposés : l'un, visible pour les sujets normaux, l'autre, visible pour certaine catégorie de dyschromates.

Si le sujet examiné ne distingue absolument rien, il devra donc être considéré comme atteint de cécité chromatique, c'est-à-dire qu'il devra être noté comme monochromate.

Ces tests tiennent compte aussi du fait que, pour les sujets aveugles au rouge et aussi au vert, les jaune, bleu, vert-bleu et violet apparaissent comme beaucoup plus lumineux et éclatants que les couleurs pour lesquelles ils sont aveugles.

C'est à partir de nombreux examens faits à l'aide de ces tests que l'auteur a mis au point la classification des anomalies de la vision des couleurs que nous avons donnée au début de ce chapitre.

Test de Schaff. -

Il est connu aussi sous le nom de tableaux à mosaïque : l'image est constituée par deux anneaux brisés de Landolt (ceux-ci étant utilisés d'habitude pour la mesure de l'acuité visuelle).

Cette image est faite de taches colorées de forme polygonale, et se détache sur un fond uni de la couleur confondue avec celle de l'image par un sujet atteint d'une certaine forme de dyschromatopsie.

L'auteur a présenté ces tableaux à l'Académie de Médecine de Paris, en 1925 ; ce qu'il y a de nouveau avec ce test, c'est que l'auteur y a adjoint quelques planches permettant de dépister les sujets atteints de tritanopie et de tétartanopie qu'il nomme tétranopie, ce qui n'existait pas encore à cette date.

Test de Wölflin. -

Ce test se présente comme les tableaux pseudo-isochromatiques de Stilling, mais ces planches de Wölflin présentent une particularité : elles doivent être examinées en changeant brusquement d'éclairage.

On passera, par exemple, brutalement d'une lumière blanche normale à une lumière riche en rayons rouges ou en rayons bleus.

Les sujets trichromates normaux sont lents à s'adapter à cette brusque modification de l'éclairage et il leur faut un temps assez long avant de pouvoir distinguer à nouveau l'image qu'ils examinaient.

Les sujets dichromates s'adaptent dans un délai beaucoup plus rapide et revoient à nouveau l'image bien avant un sujet normal.

Test de Cohn. -

L'auteur avait noté, au cours de ses nombreux essais d'expérimentation, qu'un papier noir posé sur un fond coloré, violemment coloré et éclairé, paraissait de la couleur complémentaire du fond quand on le regardait à travers un papier blanc translucide. Cohn a essayé de se servir de ce phénomène dans son test : des lettres noires sur fond pourpre servent de sujet d'examen, on les recouvre d'un papier translucide pour les regarder. La couleur complémentaire des pourpres étant dans la gamme des vert-jaune, un sujet normal distinguera la lettre du fond, celui-ci restera pourpre et la lettre lui paraîtra vert plus ou moins jaunâtre, suivant la nuance exacte du fond, c'est-à-dire les proportions respectives de violet et de rouge entrant dans sa composition.

Un sujet anormal ne distingue plus la lettre si son type correspond à un manque de sensibilité dans la perception du vert ; il lui semblera alors voir une teinte uniforme, surtout si l'épaisseur du papier pelure est telle que la brillance du fond et celle de la lettre soient atténuées et paraissent identiques.

Des couples de teintes fond-lettre judicieusement choisis devraient permettre de dépister les divers types d'anomalies, et même de les classer de façon assez rudimentaire.

Les résultats donnés par cette méthode sont toujours très empiriques et sont entachés des mêmes erreurs que ceux donnés par les tests précédents.

Tests de Polack (39). -

Ils sont très voisins de ceux de Ishihara, et basés sur le même principe. Des tableaux, représentant des chiffres, des figures géométriques, des animaux plus ou moins stylisés et simplifiés, sont constitués par des ronds de tailles diverses, colorés de teintes différentes.

Parfois deux images sont superposées, comme dans le cas du test de Ishihara, permettant une différenciation nette de deux types de sujets normaux. (Fig. 2, 3 et 4).

Ces tests ont droit ici à une place particulière, car c'est avec leur aide que nous avons procédé aux premiers travaux de dépistage qui sont à l'origine de cette thèse ; c'est cette première expérimentation qui nous a permis de contrôler et de discuter les résultats des statistiques de fréquence des diverses anomalies.

L'auteur, dans l'exposé qui accompagne ses planches, donne une classification des anomalies, qui lui est personnelle :

- Type Dalton	.....	correspondant sensiblement aux protanopes
- Type Nagel	.....	correspondant aux deutéranopes
- Type Balfour	.....	il englobe à peu près tous les anomaux
- Type Harris	.....	correspondant à l'achromatopsie totale.

Lors des premiers examens que nous avons effectués, nous avons rencontré peu de type Dalton, nous n'avons considéré comme type Nagel que les sujets présentant une très réelle difficulté - pour ne pas dire impossibilité totale - à lire les planches indiquées pour le dépistage de cette anomalie.

Nous avons classé comme trichromates anomaux les individus qui, tout en voyant à peu près toutes les planches destinées aux sujets normaux, voyaient également plus ou moins nettement les planches destinées aux type Dalton ou Nagel.

Nous donnons ci-contre trois clichés qui explicitent le mécanisme de ce test ; dans l'une des figures, un sujet normal lira un 5 bleu se détachant sur un fond composé à la fois de points violets et d'anneaux formés de points jaunes. Les sujets anormaux ne distingueront pas les points bleus des points violets et verront seulement des cercles formés par les points jaunes se détachant sur un fond unicolore dont les points s'individualiseront uniquement par des différences de brillance.

Test pseudoisochromatique ou H. R. R. (17). -

Ces tests, de type identique aux précédents, sont constitués par des ronds diversement colorés se détachant sur un fond gris, formé également de points de brillance variable.

Les images reproduites par les ronds colorés sont des figures géométriques faciles à identifier, ce qui rend ces tests propres à être utilisés pour le dépistage à tous les niveaux de la société, y compris les jeunes écoliers.

Les six premières planches permettent de séparer les sujets ayant une anomalie du sens chromatique des sujets normaux.

Les planches 7 à 16 permettent de dépister les sujets ayant une déficience soit pour le rouge, soit pour le vert ; les planches 17 à 20 permettent de reconnaître une anomalie soit pour le bleu, soit pour le jaune.

Le sujet à tester doit se placer à une distance de 75 cm du livre et être éclairé par la lumière du soleil ou, à défaut, par une lumière dite lumière du jour.

On note sur une fiche de résultats, en face du numéro correspondant à la planche, les réponses correctes ou incorrectes du sujet, pour en déduire ensuite son type.

Une erreur quelconque sur les planches 1 à 6 indique une anomalie de la vision des couleurs ; s'il ne se produit pas d'autre erreur sur les autres planches, ce sera un sujet peu atteint et de type pratiquement inclassable.

Des erreurs sur les planches 7 à 11 indiquent une faible déficience, soit pour le rouge, soit pour le vert ; si le sujet commet des erreurs sur les planches 12, 13 et 14, il y a une anomalie moyenne mais nette, caractérisée par une perte de sensibilité soit dans le rouge, soit dans le vert, suivant les réponses fournies. Si les erreurs se produisent, de plus, sur les planches 15 et 16, l'anomalie enregistrée devra être considérée comme très forte.

Des erreurs sur les planches 17, 18 indiquent une anomalie moyenne, soit pour le bleu, soit pour le jaune, suivant les réponses ; si, de plus, il y a erreur pour les planches 19 et 20, il y aura lieu de considérer que l'anomalie est forte.

L'originalité réside ici en l'introduction dans la classification d'un nouveau type déjà mentionné par Schaff : les auteurs admettent bien les types protanopes, deutéranopes et tritanopes tels qu'ils ont déjà été décrits, mais ils leur adjoignent les tétartanopes, correspondant à des sujets qui seraient aveugles au jaune.

Test de Farnsworth-Munsell (11). -

Ce test diffère nettement de ceux que nous avons pu voir jusqu'ici, et il introduit une nouveauté : l'essai de représentation graphique de la vision des couleurs du sujet testé.

L'ensemble du test est constitué par 85 pions disposés en quatre séries ; chacun de ces pions est recouvert par un disque coloré, les pigments utilisés ont été étudiés pour résister au maximum à l'exposition à la lumière ; ces disques sont mats pour donner la même impression sous quelque angle de visée que ce soit. L'éclairage, pour l'examen, doit correspondre à 6.500°K ou, à défaut, être fourni par une puissante lampe dite lumière du jour.

Le test consiste, pour le sujet, à ranger les pions d'une série entre deux pions témoins inamovibles qui indiquent les limites de variation de teinte de la série. Chaque pion porte au-dessous un numéro qui permet de vérifier le classement remis par le sujet ; les numéros, pour l'ensemble du test, vont de 1 à 85.

Il faut ensuite attribuer une valeur à chacun des disques, pour pouvoir construire une courbe : la valeur d'un pion correspond au total obtenu en additionnant les deux chiffres représentant l'écart entre le numéro du disque considéré et les numéros des deux qui lui sont adjacents dans l'ordre de rangement du sujet testé. On porte ces valeurs dans un espace réservé à cet effet. On prend ensuite le disque du graphique, chaque chiffre porté au centre correspond au numéro d'ordre d'un pion ; on marquera la valeur attribuée à chacun d'eux sur la ligne radiale qui lui correspond, cette valeur étant comptée du centre vers la périphérie. On obtient ainsi des points que l'on joint par des droites, pour obtenir un graphique qui illustrera la vision du sujet.

Un sujet normal n'aura effectué que quelques rares transpositions dans la place des pions, les autres sujets feront des erreurs d'autant plus importantes que leur anomalie sera plus nette (Fig. 5).

L'anomalie caractérisée se manifeste par deux zones où se rencontreront un grand nombre d'erreurs, ces zones sont approximativement situées aux extrémités d'un diamètre. (Fig. 6, 7, 8).

Les protanopes ont un minimum de discrimination pour les pions situés entre 63 et 67, les deutéranopes pour ceux placés de 57 à 61, et les tritanopes pour ceux situés de 46 à 48.

Les tests dont nous venons d'examiner ici quelques exemples présentent à la fois des avantages et des inconvénients.

Parmi les avantages, il faut citer, avant tout, la rapidité des examens, par rapport au temps nécessaire pour procéder à une étude complète du sens chromatique à l'aide des méthodes que nous allons voir ensuite. Il ne faut pas négliger, non plus, l'encombrement minimum qu'ils représentent par opposition à certains grands appareils de laboratoire, ce qui permet d'utiliser les tests n'importe où, et non pas seulement dans les centres de dépistages spécialisés.

Malheureusement, il faut songer aussi aux inconvénients présentés par les tests : les résultats qu'ils donnent ne sont qu'empiriques, il n'y a aucune certitude qu'un type peu accusé d'anomalie ne puisse passer inaperçu. Ceci peut être grave, si, comme on s'en aperçoit parfois, certains types peuvent évoluer en s'aggravant.

Quand on examine un même sujet anormal à l'aide de plusieurs sortes de tests différents, on se rend compte de l'imprécision des renseignements qu'ils donnent, car, suivant le test considéré, le sujet ne présentera pas toujours rigoureusement le même type d'anomalie, et surtout le même degré d'atteinte du sens chromatique.

Intrigué par ces différences de résultat, nous avons voulu comparer les trois séries de tests utilisés (Polack, Ishihara, et H. R. R.) en utilisant l'Atlas des couleurs de Farnsworth. On s'aperçoit que les couleurs confondues selon les auteurs sont assez différentes pour un même type d'anomalie. C'est ainsi, par exemple, que pour le type Dalton le gris N° 47 est confondu avec le bleu-vert N° 16 dans les tests de Polack, avec le rouge N° 8 dans les tests d'Ishihara et avec le rose N° 9 et le rose N° 50 dans les tests H. R. R. Pour le type Nagel le même gris N° 47 est confondu avec le rose N° 10 et le vert N° 17 dans les tests de Polack, avec le rose N° 51 dans les tests d'Ishihara, et avec le mauve N° 11 et le bleu-vert N° 40 dans les tests H. R. R.

Enfin, dernier reproche qui peut leur être fait : les pigments qui entrent dans la composition de leurs couleurs sont fragiles et, par un usage fréquent et régulier, ces tests se détériorent peu à peu, ne donnant plus des résultats fidèles conformes à ce que l'on attend d'eux.

Toutefois, on ne peut nier que ces méthodes de dépistage ont déjà rendu de grands services et sont susceptibles d'en rendre encore.

Etude des appareils de dépistage

L'usage des tests s'étant répandu surtout parmi les cliniciens, les chercheurs qui, dans leur laboratoire, s'attaquaient aux problèmes théoriques relatifs aux anomalies de la vision des couleurs ont pensé à procéder pour leur propre compte à des dépistages systématiques à l'aide d'appareils appropriés qui élimineraient une partie des inconvénients présentés par les tests colorés.

Ensuite, les Administrations, avant d'engager du personnel, ou certaines Ecoles, avant d'admettre les candidats au Concours d'Entrée, procédèrent à un examen sérieux de la vision des couleurs à l'aide d'appareils de dépistage. Il est évident que ceux-ci furent toujours fabriqués en très petit nombre et que, dans ces cas-là, les sujets testés restèrent toujours relativement peu nombreux.

L'appareil de cette série, qui semble être le plus ancien est le

Dichrooscope de Lambert

appelé aussi Appareil de Lambert et Helmholtz (18). Il se compose d'une planchette noircie sur laquelle sont ménagées deux fentes recouvertes de deux papiers de couleurs différentes. Au-dessus de la planchette, à 25 cm. environ, on dispose verticalement un verre à vitre, et on regarde les papiers colorés au travers.

L'œil est impressionné par le mélange des deux couleurs, on fait varier la luminosité du mélange et sa composition en écartant plus ou moins les papiers colorés.

Cet appareil, très rudimentaire, n'est naturellement plus du tout utilisé de nos jours ; il fut rapidement remplacé par le

Dichrooscope de Dove (9)

Décrit par Rood, cet appareil est constitué par une caisse dont trois des côtés sont ouverts mais peuvent être obturés, l'un par un verre dépoli, les deux autres par des verres colorés. La quatrième face comporte une plaque noircie, opaque, percée d'une ouverture carrée destinée à la visée ; de plus, placées obliquement selon une diagonale, se trouvent plusieurs plaques de verre à vitre incolore.

Par exemple, supposons que, en haut en 2, on place un verre coloré en vert, au fond en 3 un autre coloré en rouge ; la lumière verte se réfléchit en 4 sur la pile de glaces obliques, la lumière rouge traverse celles-ci sans subir de modification. A la sortie, l'oeil perçoit, par la fente carrée ménagée à cet effet, la superposition des deux teintes. Si, entre l'orifice de sortie et l'oeil de l'observateur, on intercale un nicol, on peut faire varier les proportions respectives de chaque lumière entrant dans la composition du mélange.

Cet appareil représentait une réelle amélioration par rapport à celui de Lambert ; toutefois, il n'était pas possible de comparer par juxtaposition la teinte du mélange à une autre prise comme référence, et, de ce fait, le résultat perdait beaucoup de son intérêt.

Très tôt la marine a voulu dépister les sujets anormaux, la confusion des couleurs des feux en mer, tout comme la confusion des couleurs des panneaux de signalisation des chemins de fer pouvant provoquer de véritables catastrophes.

Les médecins de la marine ont beaucoup travaillé le problème du dépistage et on leur doit plusieurs appareils de type nouveau et aussi des perfectionnements incessants des méthodes d'examen. Le plus ancien des appareils dûs au travail des médecins de la marine est le

Chromatoscope. -

Cet appareil comporte, en avant d'une source lumineuse, des orifices fermés par des verres colorés et juxtaposés deux à deux : on peut ainsi éclairer alternativement des couples de plages colorées.

Pour déceler le daltonisme, on présente au sujet examiné les couples suivants : vert clair - vert foncé, rouge clair - rouge foncé, puis vert clair - rouge clair, vert foncé - rouge foncé.

Cette épreuve, dite de confusion, se fait en plaçant le sujet examiné à une distance de 2 m de l'appareil, les deux plages composant les couples étant juxtaposées.

L'épreuve suivante, dite des trois feux, se fait en plaçant l'appareil à 5 m du sujet, les plages colorées utilisées à ce moment ont alors 16 mm de diamètre. Si le candidat reconnaît à cette distance la couleur des trois feux, blanc, rouge et vert, il a une acuité visuelle qui lui permettra de reconnaître les feux utilisés pour la signalisation maritime à une distance de 2.000 mètres.

Tout dernièrement, on a ramené à 2 m la distance à laquelle le sujet devait se trouver de l'appareil pour subir cette épreuve.

Le chromoptomètre de Le Mehaute - Guérin (★), utilisé maintenant par la marine est une simple modification du précédent.

L'appareil a simplement été un peu modernisé, surtout pour rendre son utilisation plus pratique ; on procède toujours aux deux épreuves décrites précédemment, de manière rigoureusement identique.

Il faut aussi, dans ce domaine, citer pour mémoire la

Lanterne d'Edridge-Green. -

Décrit par Oblath (35), cet appareil comporte cinq disques en verre coloré, et d'autres en verre plus ou moins opaque, permettant de donner au sujet examiné l'illusion de la brume et de la pluie.

Le sujet atteint de dichromatisme ne pouvait nommer les couleurs des disques sans commettre d'erreur ; ceux-ci, en effet, lui étant présentés sans ordre, plusieurs fois de suite, en faisant varier d'une fois sur l'autre l'intensité lumineuse, puis en ajoutant, en avant du disque coloré, le verre dépoli destiné à donner l'illusion de brouillard ou de pluie.

Dans la série des appareils de laboratoire à laquelle nous allons revenir maintenant, il y a lieu de retenir :

L'égaliseur de teinte de Nagel (32). -

Cet appareil, imaginé par Nagel et modifié ensuite par Köllner, porte maintenant le nom d'égalisateur de teinte de Nagel-Köllner.

(★) Les appareils utilisés par la marine pour ses examens de la vision des couleurs sont décrits avec leurs modifications successives dans divers numéros du Bulletin officiel de la Marine.

Une source lumineuse est placée à l'extrémité d'un tube métallique à section carrée, et éclaire un verre translucide divisé en deux parties par une petite cloison placée en arrière. On peut ajouter, tout à tour, des verres translucides plus ou moins épais qui auront pour but d'obscurcir une partie du champ, l'obscurcissement obtenu étant proportionnel à l'épaisseur des verres interposés.

On ajoutera aussi des verres diversement colorés pour modifier la couleur perçue ; la modification ne portant jamais que sur une moitié du champ, le sujet examiné devra dire s'il y a ou non égalité de couleur et de luminosité.

En fait, jamais les deux plages ne seront rigoureusement identiques, et seul un sujet anormal donnera une réponse affirmative quant à l'égalité des couleurs.

Anomaloscope de Nagel et Rayleigh (32). -

Ce nouvel appareil que nous décrivons est une application du principe des mélanges de couleurs ; il convient donc d'examiner brièvement ce qui se passe quand on procède à un tel mélange.

Prenons, à titre d'exemple, une radiation rouge $\lambda = 690 \text{ m}\mu$ que nous allons mélanger à une radiation de longueur d'onde déterminée. On peut choisir la composition suivante :

$$\text{Rouge (} \lambda = 690 \text{ m}\mu \text{) } + \text{ Bleu-vert (} \lambda = 490 \text{ m}\mu \text{)}$$

qui donne une teinte grise tirant sur le blanc. On donne à cette teinte grise le qualificatif de sensible, car si la proportion de rouge varie si peu que ce soit, la teinte obtenue se modifiera immédiatement. En diminuant le rouge, le gris tendra vers le bleu-vert ; en augmentant la proportion de rouge, le gris tendra vers le rouge.

On peut, dans une nouvelle expérience, choisir la composition suivante :

$$\text{Rouge (} \lambda = 671 \text{ m}\mu \text{) } + \text{ Vert (} \lambda = 535 \text{ m}\mu \text{)}$$

qui donne les couleurs dans la gamme des jaunes tirant sur l'orangé, mais, dans le cas de ces deux longueurs d'onde, jamais on n'obtiendra de gris tirant sur le blanc, car les deux couleurs ne sont pas complémentaires.

Nous donnons le schéma, d'après Oblath (Fig. 9 et 9 bis) d'un tel appareil permettant de procéder au mélange de deux couleurs ; il comprend :

- 1°) un monochromateur à deux fentes qui sont éclairées par une même source de lumière blanche S

2°) Une lentille L semble recevoir des radiations monochromatiques de longueur d'onde λ_1 et λ_2 venant des fentes F_1 et F_2 jouant le rôle de sources secondaires.

3°) Un prisme P disperse ces radiations qui sortent en F' où se place l'observateur.

La largeur des fentes F_1 et F_2 fixe λ_1 et λ_2 . Si la moitié supérieure du prisme est argentée pour empêcher le passage des radiations, on peut introduire une source accessoire S_2 qui servira de comparateur.

Le champ examiné par l'observateur sera divisé en deux parties : l'une représentant l'addition des deux lumières provenant de F_1 et F_2 et définies par leurs longueurs d'onde λ_1 et λ_2 , l'autre correspondant à la source S_2 qui va servir ici d'élément de comparaison.

Après avoir étudié sommairement le principe du fonctionnement de l'anomaloscope, il reste à voir la description de cet appareil.

Il se compose d'une lunette à travers laquelle le sujet examine un champ lumineux circulaire divisé en deux plages égales par une ligne horizontale.

La zone inférieure reçoit, par l'intermédiaire d'un prisme, la lumière jaune du sodium ($\lambda = 589 \text{ m}\mu$), la zone supérieure reçoit la lumière de deux prismes : l'un traversé par de la lumière rouge ($\lambda = 665 \text{ m}\mu$), l'autre par de la lumière verte ($\lambda = 536 \text{ m}\mu$).

La proportion de chaque lumière qui arrive sur la plage est réglée par deux fentes placées en arrière des prismes et commandées par une vis telle que la fermeture de l'une des fentes amène l'ouverture correspondante de l'autre fente. Une autre vis indépendante commande également l'intensité lumineuse de la plage jaune du sodium, ceci afin de permettre au sujet testé une égalisation à la fois de la couleur et de la brillance.

Chacune des vis est solidaire d'un tambour gradué arbitrairement de 0 à 88, ceci permettant de chiffrer les valeurs relatives des mélanges pour chaque individu examiné.

Le réglage qui donne l'égalité complète pour un oeil normal correspond aux valeurs suivantes : 14 pour le jaune et 58 pour le rouge-vert.

Une étude plus approfondie montre que la saturation du mélange est légèrement plus faible que celle de la lumière du sodium, mais la plupart des auteurs qui ont utilisé cet anomaloscope pour leurs travaux ont été d'accord pour reconnaître que cette différence était négligeable et pouvait en rien influencer les résultats de l'expérience.

Nous avons donné le résultat du mélange qui satisfait les sujets normaux, ils exigent un certain rapport des brillances respectives de rouge et de vert pour arriver à l'égalisation avec la lumière jaune du sodium. Les sujets anormaux, examinés dans les mêmes conditions, arriveront à ce qui leur paraît être l'égalisation pour des valeurs très différentes de ce rapport.

Nous allons rapidement envisager ce qui se passe pour ces sujets anormaux. Nous examinerons d'abord le cas des trichromates anormaux qui se rapprochent le plus des sujets normaux, puis celui des dichromates.

Le tambour des vis est gradué de telle façon que l'on obtienne le vert spectral pur pour la position 0 de la vis de réglage, et le rouge spectral pur pour la position 88. Le rapport indiqué par la graduation du tambour correspond donc à $\frac{R}{V}$, c'est-à-dire à la proportion de rouge dans le mélange par rapport à la proportion de vert.

Cas des protanomaux. - Pour ces sujets, le rapport $\frac{R}{V}$ est plus élevé que pour la normale, il faut relativement moins de vert pour arriver à l'égalisation : ceci montre que ces sujets sont relativement moins sensibles au rouge que les sujets normaux.

Cas des deutéranomaux. - Dans ce cas-là, au contraire, le rapport $\frac{R}{V}$ est plus faible que pour les sujets normaux, le deutéranomal a tendance à moins bien voir le vert et, par conséquent, à voir davantage le rouge.

Cas des dichromates. - Pour tester les sujets anormaux à l'aide de cet appareil, on doit procéder en deux temps :

1° - On amène la plage inférieure au vert spectral ; le sujet, en tournant lui-même la vis du jaune sodium, amène à l'égalité d'intensité lumineuse et, ne distinguant pas la couleur, croit avoir obtenu l'égalité de teinte.

Le protanope règle la vis jaune à 60 et même parfois au-delà, le deutéranope règle à 40 et parfois en deçà.

2° - On recommence la même expérience en amenant le rouge spectral sur la plage inférieure, et en faisant rechercher l'égalisation à l'aide de la vis jaune.

Le protanope fait son réglage aux environs de 10 alors que le deutéranope doit aller jusqu'à 20 et même parfois au-delà.

Le sujet normal comme le trichromate anomal ne sauraient, dans ce cas-là, donner un résultat d'égalisation. Il est à remarquer qu'un protanope confirmera toujours l'égalisation d'un protanomal, et un deutéranope celle d'un deutéranomal ; la réciproque n'est pas vraie.

En effet, l'oeil dichromasique est divariant, c'est-à-dire que, pour lui, deux solutions au moins d'égalisation sont possibles ; il n'y en a jamais qu'une seule pour l'oeil trichromasique qui est trivariant, et ceci reste vrai dans le cas du trichromate anomal.

L'avantage de cet anomaloscope réside dans le fait qu'il permet de dépister les trichromasies anormales et en quelque sorte, à l'aide de ses graduations, d'en déterminer la gravité. Il permet de plus de séparer les dichromasiques en protanopes et en deutéranopes, et de chiffrer aussi l'importance de leur perte de sensibilité.

Les résultats chiffrés sont très arbitraires, mais ils permettent toujours des comparaisons valables entre sujets testés à l'aide du même appareil.

On a construit relativement peu de ces appareils bien qu'ils aient représenté pendant longtemps le meilleur anomaloscope de dépistage.

Il y a eu quelques perfectionnements apportés au prototype de Nagel-Rayleigh qui n'ont modifié en rien son fonctionnement ; le plus connu de ces appareils modifié est l'anomaloscope type N°11 de Nagel. Il comporte simplement en plus un oculaire qui, par l'intermédiaire d'une vis supplémentaire, est mobile dans le plan horizontal, ce qui permet de faire varier l'étendue du faisceau lumineux composé à l'intérieur du champ de l'appareil.

CHAPITRE III

DESCRIPTION d'un NOUVEL APPAREIL de DEPISTAGE

et d'un

GRAND MONOCHROMATEUR de CONTROLE.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les résultats obtenus par examen d'un sujet à l'aide des tests colorés étaient souvent difficiles à interpréter. Certains étudiants paraissant normaux aux tests étaient gênés dans leurs travaux de laboratoire ; d'autres, anormaux, étaient classés dans une catégorie variable en fonction du test utilisé.

Ces différences d'interprétation peuvent facilement s'expliquer par l'examen des tests. Nous avons déjà noté, dans le chapitre précédent, que les teintes confonduës variaient selon les tests utilisés, mais il existe d'autres raisons aux difficultés d'interprétation : Les spots colorés sont généralement très petits ; il est difficile d'utiliser un éclairage toujours identique à lui-même, et il est difficile de faire examiner le test toujours à la même distance, celle-ci variant de 60 à 80 cm ; le diamètre des spots colorés examinés variant de 1 à 5 mm pour les tests, le diamètre apparent de l'objet varie entre 3' et 18' ; or, on estime le pouvoir séparateur de l'oeil à 1' pour la lumière blanche, mais ce pouvoir séparateur est probablement plus faible dans le cas d'objets colorés, il se peut donc que les points les plus petits soient vus difficilement et qu'intervienne alors non seulement la sensibilité à la vision des couleurs mais l'acuité visuelle du sujet.

Nous avons donc considéré l'utilisation des tests colorés comme une méthode correcte de dépistage clinique mais nettement insuffisante pour une étude un peu approfondie des anomalies du senscchromatique. Nous avons alors tenté, d'une part, d'utiliser des méthodes plus objectives permettant d'effectuer des mesures, et, d'autre part, de présenter aux sujets examinés des lumières colorées et non plus des pigments.

Nous avons travaillé d'abord personnellement avec un anomaloscope de Nagel, mais nous estimions que cet appareil était, lui-aussi, insuffisant, car il ne permettait pas d'étudier des anomalies de sensibilité pour toutes les régions du spectre. Les inconvénients de cet appareil ont été analysés par Segal dans son "Mécanisme de la vision des couleurs". (44).

Dans ces conditions, nous nous sommes proposé en premier lieu de réaliser un appareil d'utilisation facile en vue du dépistage des anomalies dans des collectivités. Pour cela, plusieurs possibilités s'offraient à nous : nous pouvions faire examiner deux plages colorées seulement, choisies arbitrairement, ou plusieurs plages voisines colorées différemment ; c'est cette dernière solution que nous avons adoptée finalement comme étant plus rapprochée des conditions de vision dans la vie courante.

Nous avons commencé par opérer nos examens à l'aide de neuf plages colorées disposées en cercle ; ces plages ne sont donc pas situées sur l'axe géométrique de l'appareil, mais étant examinées à une distance de 4 m,50, le rayon visuel qui en provient forme avec celui-ci un angle très petit qui est le même pour toutes. Par la suite, nous avons augmenté le nombre de nos investigations en utilisant un second jeu de neuf plages colorées différentes, toujours disposées sur la même circonférence, et nous avons voulu calculer exactement l'angle de vision des plages de l'appareil par rapport à l'axe optique ; les rayons lumineux provenant de ces plages forment avec cet axe un angle de $1^{\circ}14'$, leur image se forme donc à $3/100$ de mm du centre de la fovéa. Nous avons également calculé le diamètre apparent de chacune de ces plages dans les conditions habituelles de l'examen, correspondant à un angle de $21'$. Ce diamètre apparent nous a paru suffisant pour que l'image soit perçue sans difficulté sur la rétine.

Le principe adopté dans l'utilisation de cet appareil a donc été le suivant : présenter au sujet deux séries de neuf plages lumineuses émettant chacune une lumière sélectionnée, correspondant à une zone spectrale aussi étroite que possible, l'appareil devant permettre en outre, de faire varier simultanément, dans un rapport connu, l'intensité des flux lumineux émanant de toutes les plages colorées ; ainsi, partant d'une intensité très faible pour l'ensemble des plages, on peut augmenter progressivement les brillances, et l'on détermine quelles sont les intensités lumineuses pour lesquelles chacune des plages commence à être perçue par le sujet examiné.

Il s'agit donc là d'une méthode de détermination de la sensibilité liminaire des sujets pour les différentes régions du spectre visible. Cet examen est naturellement effectué dans une salle parfaitement obscurcie, après adaptation du sujet à l'obscurité.

I. - Description de l'anomaloscope

L'appareil, très simple dans son principe, comporte une source lumineuse unique, qui n'est autre qu'une lampe à incandescence ordinaire, de surface dépolie à filament métallique, et d'une puissance normale de 40 W. Cette lampe est alimentée par un circuit secteur 110 V alternatif, comprenant en série une résistance variable à curseur ; elle se trouve placée au centre d'une boîte cylindrique métallique de 240 mm de diamètre et de 140 mm de profondeur, dont l'intérieur est revêtu d'une peinture noire mate faiblement diffusante et non sélective. Le facteur diffusant de cette surface a été évalué et correspond sensiblement à $1/25$ du pouvoir diffusant d'une substance blanche de référence. Le rayonnement direct de la lampe n'étant transmis jusqu'à l'oeil de l'observateur par aucune des plages, c'est toujours uniquement la paroi diffusante qui sert de source effective, et sa brillance est la même pour toutes les plages. L'une des extrémités du cylindre métallique, qui sert de couvercle à la boîte, porte des trous circulaires de 28 mm de diamètre, destinés à recevoir les écrans colorés. De plus, chacun de ces trous peut être obturé par un cache métallique mobile autour d'une charnière excentrique.

Le rhéostat de $400\ \Omega$ qui accompagne l'appareil est muni d'un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée de zéro à vingt ; l'écartement des divisions est suffisant pour pouvoir apprécier sans difficulté une demi-division du curseur.

Les plages colorées sont constituées par des filtres colorés Wratten-Kodak mis en double épaisseur et maintenus en position par deux lentilles planes. Les filtres sont vendus par le constructeur accompagnés d'une courbe spectrale indiquant la largeur de la bande de transmission. Nous avons, à partir de ces données théoriques, calculé la longueur d'onde moyenne transmise par chaque plage de l'appareil et nous avons contrôlé ce résultat ainsi que nous allons être amené à l'expliquer. (Fig. 1)

Nous avons, en effet, procédé à un étalonnage de l'ensemble de l'appareil ; pour cela, nous avons déterminé la courbe spectrale énergétique de la lampe à l'aide de deux photo-multiplieurs différents : 1 P 21 RCA et 6217 RCA (Radio Corporation of America, Harrison New-Jersey (Fig. 2 et 3), en utilisant le montage décrit par Pasquier (37).

Cette courbe énergétique a été déterminée pour diverses positions du rhéostat : soit 0 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 14 ; 16 ; 18 ; 20 (Fig. 4) ; nous avons pu en déduire les différentes courbes énergétiques relatives, et nous avons déterminé par interpolation les valeurs correspondant aux autres divisions du curseur (Tableau I) (Fig. 5).

Nous avons, d'autre part, déterminé aussi la courbe spectrale énergétique pour chaque association de filtres utilisée, le rhéostat étant placé sur la graduation 20 (Fig. 6). Nous en avons déduit le pourcentage de transmission pour chaque longueur d'onde ; les valeurs obtenues concordaient sensiblement avec les données fournies par le constructeur.

Nous avons ensuite tracé les courbes représentatives et nous avons calculé les surfaces ainsi délimitées par comptage (sur papier millimétrique) et par la méthode planimétrique (Fig. 7).

Ensuite, considérant chaque association de filtres constituant les plages lumineuses, nous avons calculé les valeurs énergétiques pour les longueurs d'onde passantes (opération effectuée de 10 en 10 $m\mu$) et nous avons représenté graphiquement les résultats obtenus pour les valeurs 0, 2, 5, 8, 11, 14, 17 et 20 du rhéostat ; ici encore, les surfaces ont été mesurées par méthode planimétrique alors qu'elles ont été déterminées par interpolation pour les valeurs intermédiaires du rhéostat. (Tableau II - Fig. 8 et 9).

A titre de vérification, nous avons effectué des opérations de comptage sur papier millimétrique et nous avons recommencé trois fois chaque détermination planimétrique ; les différences entre les divers résultats se sont toujours révélées inférieures à 5 %. Ce résultat nous a paru très satisfaisant et inférieur à l'erreur introduite au cours de l'expérimentation par l'imprécision de la réponse donnée par le sujet examiné, même quand les observations sont répétées et évaluées statistiquement. Nous nous sommes aperçu en effet, au cours de nos différents examens que l'imprécision de chaque réponse se situe aux environs d'une demi-division du curseur ; ceci donne une erreur de 8 % à 530 $m\mu$ et de 20 % à 435 $m\mu$.

A partir de ces valeurs, nous avons construit un tableau donnant pour chaque association de filtres utilisée la longueur d'onde moyenne et l'énergie transmise pour chaque graduation du curseur (Tableau III).

Méthode d'établissement de la courbe moyenne des sujets normaux :

Cette courbe a été établie à partir des réponses données par 23 sujets trouvés préalablement normaux aux tests de Polack, Ishihara et Pseudo-Isochromatic (Voir Tableau des réponses pour les associations de filtres N° 7 (680 $m\mu$) et 17 (650 $m\mu$)).

Nous avons retenu comme valeur du seuil la moyenne arithmétique des réponses mais, dans certains cas où celle-ci ne correspondait pas à une valeur obtenue réellement, nous avons pris souvent la dominante si sa valeur était très voisine, ou une valeur intermédiaire entre la moyenne arithmétique et la dominante si elles étaient un peu éloignées. (Tableau IV).

A partir de ces valeurs, nous avons construit deux courbes en fonction de la longueur d'onde : l'une, en portant en ordonnée la valeur de l'énergie relative nécessaire pour avoir une réponse ; l'autre, l'inverse de l'énergie (Fig. 10 et 11) (Tableau IVbis).

On obtient, dans ce deuxième cas, une courbe en cloche légèrement dissymétrique dont le maximum se situe vers 530 $m\mu$; c'est le même maximum de sen-

sibilité que nous avons retrouvé par la suite avec le monochromateur, pour la moyenne des sujets normaux.

II. - Description du monochromateur.

Les examens faits à l'aide de l'anomaloscope simplifié décrit plus haut, nous avaient permis de déceler des anomalies qui passaient inaperçues aux tests colorés.

Ces anomalies correspondaient à une incapacité visuelle pratique réelle, car les sujets reconnus atteints étaient particulièrement gênés lors de leurs travaux de laboratoire (Chimie analytique ou Bactériologie). Cependant, certains résultats nous avaient paru d'abord incompréhensibles, en particulier l'existence de plusieurs points de sensibilité maxima échelonnés le long du spectre ; ce qui revient à dire que nous observions une succession de points d'hyposensibilité et d'hypermensibilité (Référence N° 80, Fig. 12). Nous avons donc voulu préciser l'étude de ces sujets.

Nous désirions en effet savoir si ces anomalies provenaient d'imperfections de notre anomaloscope (imperfections sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement) en comparant les résultats obtenus à l'aide de cet appareil simple avec ceux obtenus à l'aide du grand monochromateur construit dans le but de soumettre à un nouvel examen les résultats précédemment acquis et dont il est maintenant question.

Ce grand monochromateur est constitué d'une succession de parties distinctes : lampe, système optique, système dispersif et, enfin, appareil de réception du rayonnement sélectionné :

- Une lampe à ruban vertical de tungstène ; la longueur du ruban est de 19 millimètres, la puissance de la lampe est de 100 W lorsqu'elle est alimentée sous une tension de 10 V obtenue par transformation du courant alternatif du secteur.

- Un système optique, constitué de deux parties distinctes. D'une part, un système de deux lentilles convergentes associées produit une image presque linéaire de la source, sur une fente réglable placée au voisinage du foyer du système, de telle sorte que l'image de la source recueillie couvre entièrement la fente. En réalité, l'image est plus grande que la fente, ce qui élimine une certaine portion du rayonnement ; cette perte est sans importance car l'intensité arrivant sur l'appareil récepteur est largement suffisante. D'autre part, une lentille convergente achromatique de 12 centimètres de diamètre et d'une puissance de 3,25 dioptries, permet de former à une distance de 4 mètres environ une image de la fente sur la fenêtre d'une des deux entrées du Pulfrich.

- Le système dispersif est constitué par un grand prisme de Broca rempli de cinnamate d'éthyle. Bien que la dispersion d'indice de ce liquide soit légèrement

inférieure à celle du sulfure de carbone, nous l'avons préféré par raison de sécurité, les vapeurs de sulfure de carbone présentant en effet des dangers d'incendie avec la proximité de la lampe à ruban de tungstène. Ce prisme est solidaire d'un cercle de cuivre horizontal mobile autour de son axe vertical, et gradué en degrés et demi-degrés : les divisions intercalaires allant de 10 en 10 minutes et un vernier permettant en outre d'apprécier la demi-minute.

Un tel dispositif permet de repérer exactement les longueurs d'onde après étalonnage du cercle gradué.

Ce type de prisme a été utilisé parce qu'il permet de travailler au minimum de déviation pour toutes les longueurs d'onde du spectre. De plus, il n'y a pas de rotation du rayon réfracté quand le prisme tourne, le rayon émergent restant toujours perpendiculaire au rayon incident. Ainsi, une mise au point effectuée pour le jaune d'une lampe à vapeur de mercure reste valable pour tout l'ensemble du spectre.

L'appareil d'observation visuelle est constitué par un photomètre de Pulfrich situé à $2^m 90$ du prisme. Il est disposé de telle manière que le rayonnement provenant du monochromateur tombe perpendiculairement sur l'appareil, c'est-à-dire que l'axe du faisceau lumineux coïncide avec l'axe d'une des fenêtres du Pulfrich. Afin de n'éclairer que cette fenêtre, on a disposé un écran de grandes dimensions devant le Pulfrich, l'autre fenêtre étant réservée.

Les cuves de l'appareil ont été remplacées par des vitres planes dépolies.

Une des plages reçoit le rayonnement du monochromateur à travers un orifice de 17 millimètres, disposé dans l'écran opaque à une hauteur convenable, la plage elle-même ayant un diamètre de 26 millimètres.

L'autre plage reçoit le rayonnement d'une lampe dépolie blanche à incandescence, à filament par conséquent non visible, placée à 55 centimètres de l'appareil. Ce rayonnement qui arrive perpendiculairement à l'axe du photomètre, est recueilli par un prisme à réflexion totale, de telle sorte qu'à la sortie de ce dernier ces rayons soient parallèles à ceux issus du monochromateur (Fig. 13).

Le sujet voit donc dans l'oculaire du Pulfrich deux plages juxtaposées : une plage blanche d'intensité lumineuse constante (tambour du photomètre bloqué à 100 pour cette plage) et une plage colorée d'intensité lumineuse variable par l'intermédiaire du deuxième tambour mobile.

Au cours d'un examen, nous présentons d'abord au sujet une lumière de longueur d'onde moyenne, généralement bien vue dans tous les cas, le 550 $m\mu$ par exemple, le tambour étant sur la graduation 100, ce qui correspond à une transmission de 100 % de la lumière incidente.

Cette opération effectuée, afin d'expliquer au sujet ce que l'on attend de lui, nous passons au 710 $m\mu$, le tambour étant ouvert au maximum. La plupart des

individus examinés ne perçoivent aucune sensation colorée pour cette longueur d'onde. Nous faisons ensuite défiler successivement les 19 longueurs d'onde repérées à l'avance, en notant pour chacune d'elles le seuil de perception liminaire.

Pour cette détermination, on commence par faire identifier la couleur, le tambour étant sur la graduation 100 ; ceci fait, le tambour est ramené à zéro et tourné progressivement jusqu'à l'apparition d'une sensation colorée.

L'opération est menée dans ce sens pour éviter des perturbations de détermination du seuil provoquées par la persistance des impressions lumineuses.

Une difficulté supplémentaire s'est présentée ; il était possible de noter, soit le seuil de couleur, soit le seuil de sensation lumineuse. Nous avons opté pour le seuil de couleur. Il faut d'ailleurs signaler que pour les sujets normaux les deux valeurs sont très rapprochées, alors qu'elles diffèrent -souvent notablement - pour les individus anormaux.

Etalonnage du monochromateur

L'étalonnage en longueur d'onde a été réalisé à l'aide d'une lampe à vapeur mercure-cadmium. Nous avons construit la courbe d'étalonnage en utilisant les longueurs d'onde suivantes : (Fig. 14).

Cd	643,8	m μ	263° 48'
	579,0	-	264° 11'
Hg	576,9	-	264° 12'
Hg	546,0	-	264° 23'
Cd	508,5	-	264° 41'
Cd	479,9	-	264° 57'
Cd	467,8	-	265° 6'
Cd	441,5	-	265° 28'
Hg	435,8	-	265° 34'
Hg	404,6	-	266° 24'

Nous indiquons, à côté, les graduations du cercle solidaire du prisme.

Cette lampe a été ensuite remplacée par la lampe à ruban de tungstène, et un filtre spécial a permis de vérifier la concordance de la longueur d'onde 590 m μ

On a pris soin d'utiliser un support des lampes permettant de passer d'une source à l'autre sans changement de position de la source par rapport au système optique.

On a procédé ensuite à un étalonnage énergétique. Un couple thermoélectrique a été placé devant le photomètre de Pulfrich, et a reçu la lumière provenant du monochromateur. La portion spectrale arrivant sur le couple thermoélectrique était identique à celle arrivant sur le photomètre.

Le courant obtenu est reçu dans un galvanomètre dont les déviations sont lues en millimètres sur une échelle graduée.

Le galvanomètre utilisé pour mesurer le courant avait les caractéristiques suivantes :

Résistance interne 36 ohms - Sensibilité 7×10^{-9} amp. / mm à 1 mètre.

La résistance due au couple thermoélectrique varie peu et nous avons estimé la résistance totale du circuit à 50 ohms.

L'échelle graduée étant à 1 mètre du galvanomètre, une déviation de 1 millimètre correspondait à un courant de $0,35 \mu V$ par millimètre.

Nous avons ainsi obtenu un courant de $0,56 \mu V$ pour $400 m\mu$, pour $530 m\mu$: $1,05 \mu V$, et pour $710 m\mu$: $11,2 \mu V$.

La courbe spectrale énergétique de la lampe a été évaluée, comme précédemment, à l'aide de deux photomultiplicateurs (le 1 P 21 et le 6217 déjà cités). (Fig. 15 et 16).

Nous avons noté, pour chaque longueur d'onde utilisée lors des examens, la hauteur de la courbe en millimètres, et nous avons divisé la valeur obtenue par les unités arbitraires d'intensité données par la courbe d'étalonnage de la cellule utilisée. Nous avons ainsi obtenu une courbe énergétique relative en fonction de la longueur d'onde qui se superpose presque à celle obtenue avec le couple thermoélectrique (courbe obtenue en portant en abscisses les longueurs d'onde, et en ordonnées les déviations en millimètres du spot lumineux du galvanomètre. (Tableaux V, VI, VII, et fig. 17).

Pour chaque sujet examiné, nous avons considéré le pourcentage de lumière nécessaire pour que la plage lumineuse soit vue, ce pourcentage se lit sur le tambour du photomètre. Nous avons alors multiplié la valeur énergétique correspondant à 100 % par le pourcentage indiqué par le tambour. Nous avons pris l'inverse de cette valeur pour construire les courbes représentatives en fonction de $\frac{1}{W}$.

Par contre, nous avons multiplié par 1000 la valeur obtenue primitivement dans l'établissement des courbes en fonction de W , ainsi que pour les autres modes représentatifs.

Méthodes d'établissement des courbes normales.

Pour procéder à l'expérimentation à l'aide du grand monochromateur, il faut respecter un certain nombre de conditions importantes.

La salle d'examen doit être totalement obscure, et le sujet à tester doit être laissé au repos à l'obscurité pendant un temps suffisant. Il nous a semblé qu'un séjour de 15 minutes était convenable pour permettre l'adaptation de l'oeil, et c'est cette valeur que nous avons régulièrement adoptée pour tous nos examens.

De nombreux sujets ont été examinés à de grands intervalles de temps pendant plusieurs années scolaires consécutives. Parmi ceux qui étaient parfaitement normaux à l'ensemble des tests de dépistage, c'est-à-dire aux tests de Polack, Ishihara, ainsi qu'aux tests pseudo-isochromatiques HRR (Hardy-Rand-Rittler), un certain nombre ont été sélectionnés et examinés successivement au grand monochromateur. Nous avons pu disposer ainsi de 31 sujets parfaitement normaux dans les conditions habituelles de dépistage.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le spectre défile devant le sujet et celui-ci doit donner son seuil de sensibilité pour 19 points différents. La largeur du spectre reçu sur l'écran opaque est de 293 mm, soit 53 mm de 710 à 620 $m\mu$, 88 mm de 580 à 490 $m\mu$, et 130 mm de 475 à 400 $m\mu$. L'orifice de l'écran opaque étant de 17 mm de diamètre, nous obtenons donc une largeur de bande passante de 30 $m\mu$ dans le rouge, de 20 $m\mu$ dans le vert, et de 10 $m\mu$ dans le violet. La longueur d'onde indiquée est donc la longueur d'onde moyenne de la bande passante.

Après avoir examiné un grand nombre de sujets, nous avons constaté que, bien que normaux aux tests, certains donnaient des réponses assez différentes de celle de l'ensemble. Les éliminer totalement ne nous satisfaisait pas ; il nous a paru, en effet, indispensable d'établir la courbe moyenne normale sur un nombre suffisant de sujets, nous avons donc décidé d'établir cette courbe moyenne normale par détermination statistique.

Pour chaque longueur d'onde moyenne, nous avons établi un tableau contenant toutes les réponses des sujets examinés ; les valeurs énergétiques ont été introduites dans le tableau par ordre décroissant.

Il aurait été plus élégant de déterminer des classes, c'est-à-dire de déterminer des limites, chaque zone entre deux limites formant une classe, avec la valeur moyenne de cette zone pour valeur de la classe. Il nous a semblé que nous ne disposions pas d'un nombre de sujets examinés suffisant pour adopter cette méthode, cependant classique en calcul statistique.

D'autre part, le tambour gradué ne permettant pas une appréciation fine de l'intensité passante, les valeurs énergétiques ne sont pas très dispersées ; ceci explique les nombreuses répétitions de valeurs rencontrées dans ces tableaux.

Ce travail de classement effectué, nous avons déterminé plusieurs paramètres importants à connaître en statistique.

Tout d'abord, nous nous sommes occupé des paramètres de position qui sont : la dominante, la médiane et la moyenne arithmétique, et que l'on peut définir ainsi :

La dominante, appelée aussi mode, est la valeur qui présente la fréquence maxima dans le tableau étudié, c'est-à-dire qui se trouve répétée le plus grand nombre de fois.

Un série statistique acceptable doit ne comporter qu'un seul mode : elle est dite unimodale ; dans le cas contraire, celle est dite multimodale.

Lorsque les données sont groupées en intervalles de classe, on peut appeler "classe dominante" celle dont l'effectif est le plus élevé, et attribuer au mode la valeur centrale.

La médiane est la valeur de la variable qui occupe une place telle que l'on trouve un nombre similaire d'observations supérieures à elle et d'observations inférieures. En statistique, cette valeur se détermine facilement pour des phénomènes finis ; elle présente, de plus, l'intérêt majeur de subir assez peu les influences des fluctuations, souvent importantes, présentées par les valeurs extrêmes enregistrées au cours de l'expérimentation.

Dans le cas qui nous occupait ici, la médiane était souvent difficile à déterminer et nous avons eu recours à une méthode graphique. La médiane est, en effet, théoriquement donnée par l'abscisse du point d'ordonnée $1/2$, c'est-à-dire 50 % des sujets examinés, sur l'ogive représentative des fréquences cumulées. Nous avons effectué cette épreuve pour toutes les fréquences étudiées, mais dans le cas qui nous intéressait ici, nous avons pu constater que cette détermination était souvent imprécise.

La moyenne arithmétique pure, c'est-à-dire la moyenne des nombres rencontrés, n'est guère utilisée. Nous lui avons préféré la moyenne arithmétique pondérée qui est la plus employée. Chaque valeur de la variable est affectée d'un "poids" correspondant à sa fréquence, puis on totalise l'ensemble des valeurs et on divise par le nombre de sujets étudiés.

Une fois ces trois paramètres de position déterminés, il nous a été facile de voir que les écarts qu'ils présentaient entre eux étaient assez faibles ; ceci nous a donné une grande satisfaction, compte tenu du fait qu'il s'agit ici d'expérimentation physiologique qui ne peut donner des résultats aussi rigoureux que ceux fournis par les sciences exactes.

Nous avons toutefois choisi, dans la plupart des cas, la valeur de la moyenne arithmétique comme étant celle dont la courbe de variation était la plus régulière.

Afin de connaître les variations de la variable pouvant être considérées comme normales du point de vue physiologique, nous avons déterminé les principaux paramètres de dispersion, à savoir les quartiles, l'écart probable, l'écart moyen arithmétique et l'écart type.

Les quartiles : ce sont trois valeurs privilégiées de la variable, réparties de telles manière qu'elles déterminent quatre zones comprenant le même nombre d'observations. On a le quartile inférieur et le quartile supérieur, le deuxième quartile, ou quartile moyen, est confondu avec la médiane.

En fait, nous nous sommes heurté à une grosse difficulté pour la détermination des quartiles, du fait que nous ne disposions pas d'un nombre d'expérimentations assez important. Nous avons dû nous contenter de déterminer des zones contenant un nombre approximativement égal d'observations, ce qui a amené souvent le quartile médian à ne pas être rigoureusement confondu avec la médiane, et a entraîné - comme nous le verrons plus loin - une imprécision dans la détermination de l'écart probable.

L'écart moyen probable : il s'obtient à partir des quartiles. On a donné, à l'espace qui sépare le quartile inférieur du quartile supérieur, le nom d'écart interquartile, et l'écart probable correspond à la moitié de l'écart interquartile ; on le représente par le symbole e_p .

Lorsque la dispersion est faible, l'écart interquartile est peu étendu, et on a facilement l'écart probable qui contient symétriquement autour de la moyenne 50 % des observations faites comme cela se doit d'après sa définition. Dans notre cas d'expérimentation, il y avait une certaine imprécision due au fait déjà cité de l'inégalité des zones interquartiles, phénomène compliqué pour certaines longueurs d'onde par l'importance de la dominante par rapport au nombre de sujets examinés.

L'écart moyen arithmétique : on fait la somme des écarts de chaque valeur de la variable par rapport à la moyenne arithmétique ; tous ces écarts sont affectés d'un "poids" correspondant à leur fréquence et considérés comme positifs ; on totalise, puis on divise par le nombre d'examen effectués.

L'écart moyen arithmétique est représenté généralement par le symbole e_a que nous avons adopté ici.

L'écart type. On prend dans ce cas, non plus les valeurs arithmétiques absolues des écarts, mais leurs carrés, puis on fait la moyenne du total obtenu qui porte le nom de moyenne des carrés des écarts, ou variance, représentée par le symbole S^2 .

L'écart type représenté par S est la racine carrée de la variance ; on l'appelle aussi écart quadratique moyen, ou écart étalon.

On a déterminé en calcul statistique quelques relations qui doivent unir ces valeurs entre elles : On sait, par exemple que, pour une bonne répartition, on

doit avoir $\frac{e_a}{S}$, rapport de l'écart moyen arithmétique à l'écart type qui doit être approximativement de 0,80 et $\frac{e_p}{S}$ voisin de 0,66.

Finalement, l'écart arithmétique étant celui dont les résultats sont apparus les plus constants, et les valeurs obtenues ayant toujours été inférieures à celles de l'écart type, nous avons adopté cette valeur pour faire la détermination des zones à l'intérieur desquelles les variations seraient reconnues comme physiologiquement normales.

En comparant les valeurs, nous avons pu nous rendre compte du fait que certaines longueurs d'onde donnaient des valeurs plus satisfaisantes que d'autres ; ce sont, comme il était facile de la prévoir, les longueurs d'onde extrêmes qui sont les plus éloignées de la répartition symétrique satisfaisante en statistique. (Tableaux VIII, IX, X, XI - fig. 18).

Quelques remarques restent encore à faire, par exemple :

La courbe moyenne normale sur 31 sujets, en fonction de l'énergie W , est une courbe en cloche à répartition légèrement dissymétrique, le maximum de sensibilité trouve place pour 530 m μ (Fig. 19).

Par contre, les sujets examinés ne présentent jamais une courbe individuelle en cloche parfaite : leur courbe laisse apparaître plusieurs maxima de sensibilité dont les positions peuvent varier légèrement d'un sujet à l'autre ; ceci est encore plus accentué quand on trace la courbe propre à chaque oeil.

Nous avons également construit la courbe représentative en fonction de $\frac{1}{W}$; Ce mode de représentation étant celui qui est le plus généralement utilisé. Dans ce cas, le phénomène précédemment décrit est encore plus marqué. (Fig. 20).

Nous devons reconnaître ici, très honnêtement, que nous avons déterminé les valeurs 710 m μ et 400 m μ par extrapolation à partir de la courbe déjà tracée. En effet, la moitié des sujets parfaitement normaux par ailleurs, ne voient plus rien du tout pour ces deux longueurs d'onde extrêmes. Devant cette constatation nous avons jugé prudent d'écarter ces deux valeurs dans toutes les représentations permettant de déterminer les types d'anomalies.

Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes

Etant donné les différences de méthodes utilisées dans ces deux appareils, on aurait pu craindre des résultats sinon contradictoires, du moins assez dissimilaires. Or, les résultats obtenus sont assez concluants, en particulier le maximum de sensibilité est relativement identique dans les deux méthodes.

Cependant, les points d'égale sensibilité, ainsi que le nombre de points d'inflexion dans les courbes, ne sont pas absolument les mêmes.

Ces différences sont facilement explicables. Si les deux méthodes se font dans l'obscurité totale, les modalités d'observation ne sont pas rigoureusement identiques. Le diamètre apparent sous lequel on aperçoit la plage lumineuse est très différent : dans le monochromateur, le diamètre apparent est de l'ordre de $19''$, il est seulement de $21''$ dans l'anomaloscope. Dans le monochromateur, la plage colorée est juxtaposée à une plage blanche d'intensité fixe, alors que dans l'anomaloscope neuf plages colorées, présentées simultanément sur un cercle, ont une intensité lumineuse qui varie à chaque instant.

Cependant, la différence essentielle provient des imperfections de l'anomaloscope. Celles-ci sont de deux sortes : la première provient des associations de filtres, la largeur de la bande passante est très variable suivant les cas. Parfois, elle est très réduite, donnant presque une bande monochromatique, d'autres fois, c'est une bande très large. Dans certains cas, enfin, nous avons dû nous contenter, comme pour $650\text{ m}\mu$, d'un ensemble de deux bandes spectrales allant, l'une de 610 à $640\text{ m}\mu$, et l'autre de 670 à $700\text{ m}\mu$. Nous admettons que l'impression visuelle globale est identique à $650\text{ m}\mu$ chez un sujet normal.

L'intensité lumineuse transmise est également très différente suivant les associations de filtres ; elle est de 20 à 50 fois plus forte dans le rouge que dans le vert ou le violet. Des plages de longueur d'onde moyenne voisine ont des intensités lumineuses très différentes, par exemple le $530\text{ m}\mu$ est sept fois plus faible que le $540\text{ m}\mu$, et quatre fois plus faible que le $510\text{ m}\mu$. Au contraire, dans le cas du monochromateur, l'intensité du rayonnement diminue en même temps que la longueur d'onde.

De plus, l'anomaloscope ne permet pas de diminuer indéfiniment l'intensité lumineuse ; donc, lorsqu'une plage est vue, le rhéostat étant à zéro (résistance maximum), il serait peut être possible de la voir encore en diminuant davantage l'intensité lumineuse. Nous gardons donc une incertitude qui n'existe pas au monochromateur, puisque, dans le cas de celui-ci, le tambour du Pulfrich permet de diminuer l'intensité lumineuse jusqu'à l'annulation totale.

C'est pourquoi nous estimons que nous devons tenir compte de préférence des résultats obtenus au monochromateur.

Pour que les résultats de l'anomaloscope soient comparables, il faudrait que nous obtenions des bandes qui, pour chaque longueur d'onde, aient une largeur sensiblement égale, et dont les intensités lumineuses soient à peu près du même ordre de grandeur.

Nous tenons à faire remarquer en cette fin de chapitre que les méthodes que nous avons utilisées sont assez différentes des méthodes habituelles. Il s'agit ici de la détermination du seuil de discrimination de la couleur.

Il est possible de faire une comparaison avec des épreuves audiométriques. L'examen au monochromateur ressemble à une audiométrie tonale et l'examen à l'anomaloscope à une audiométrie vocale.

En poursuivant cette comparaison, il faudrait considérer que les modes de détermination usuels correspondent aux épreuves de Luscher en audiométrie. Il s'agit, en effet, de méthodes de seuil à un certain niveau d'intensité ou encore de détermination de sensibilité différentielle pour les diverses longueurs d'onde du spectre visible.

Quant aux méthodes utilisant des éclairs brefs, elles font entrer en jeu le facteur temps qui complique un problème déjà très difficile à résoudre.

CHAPITRE I V

DIFFERENTES FORMES de REPRESENTATION des COURBES de VISION des COULEURS .

FICHES d ' EXAMEN des SUJETS les PLUS TYPIQUES et COURBES REPRESENTATIVES de ces SUJETS .

I. - DIFFERENTES FORMES de REPRESENTATION des COURBES de VISION des COULEURS .

Nous avons décrit, dans le chapitre précédent, les deux appareils utilisés pour notre étude systématique d'un certain nombre de sujets, et nous avons expliqué comment nous avons déterminé, pour chacun de ces appareils, la courbe de réponse moyenne des sujets normaux.

Devant la complexité du phénomène étudié, nous avons estimé nécessaire d'imaginer plusieurs modes de représentation.

Il s'agit en effet de l'étude d'un phénomène physiologique et il n'est pas possible de faire ressortir les différentes caractéristiques d'un sujet à l'aide d'un seul mode de représentation. De même qu'en pharmacologie, il y a plusieurs manières de tracer des courbes de toxicité à partir des mêmes résultats d'action d'un médicament sur des animaux de laboratoire, ainsi c'est l'examen d'ensemble des différentes courbes représentatives qui permettra de classer au mieux un sujet dans telle ou telle catégorie.

Ce sont ces différents modes de représentation que nous allons examiner d'abord pour les sujets normaux, puis pour les sujets anormaux.

Dans le cas des sujets normaux, des protanopes, deutéranopes, tritanopes, achromatopsiques et sujets anomaux, nous avons utilisé ces représentations pour les valeurs moyennes obtenues ; pour chaque type nous examinerons, en outre, un certain nombre de cas individuels.

Dans le cas des tétartanopes, nous ne présenterons qu'un seul cas, n'ayant pu obtenir, vu le peu de sujets rencontrés dans ce type, une valeur moyenne satisfaisante. Nous présenterons aussi le cas de deux sujets qui n'ont pu être classés jusqu'ici dans aucune catégorie.

1° - Courbe en fonction de W et de $\frac{1}{W}$

Nous avons donné, dans le chapitre précédent, les courbes obtenues pour la moyenne des sujets normaux (Cf. Fig. 10, 11, 19, 20, Ch. III). Il nous a semblé intéressant de tracer les mêmes courbes non plus sur papier millimétré ordinaire mais sur papier semi-logarithmique et sur papier bilogarithmique (Fig. 1 à 8).

2° - Courbe différentielle

Cette courbe a été obtenue en portant en abscisses les longueurs d'onde, et en ordonnée la variation d'énergie liminaire ΔW (Fig. 9) ; elle serait valable si les intervalles de longueur d'onde entre deux plages consécutives étaient identiques. Or, il n'en est rien, c'est pourquoi il nous a semblé plus rigoureux de porter en ordonnées $\frac{\Delta W}{\Delta \lambda}$ ou son inverse. Le tracé de cette courbe comporte cependant un certain $\Delta \lambda$ arbitraire, car il est nécessaire de prendre une origine de départ. Il y aura donc un décalage de la courbe selon que l'origine aura été prise à 400 $m\mu$ ou à 710 $m\mu$ (Fig. 10, 11, 12, 13).

2bis. - Courbe de sensibilité relative

Cette courbe, de même que la précédente, ne se prête pas à des représentations individuelles. Nous l'avons donc utilisée uniquement pour les moyennes des différentes catégories. Elle est obtenue en donnant arbitrairement la valeur 1 à la longueur d'onde correspondant au maximum de sensibilité. On fait ensuite le rapport entre la valeur de ce seuil et les valeurs des seuils obtenus pour toutes les autres longueurs d'onde utilisées. (Fig. 14, 15).

3° - Courbe de sensibilité liminaire d'un sujet (mesures rapportées aux constantes statistiques)

Les résultats obtenus à l'anomaloscope étaient trop disparates pour effectuer une étude statistique permettant de définir l'écart type ; c'est pourquoi la courbe

que nous allons étudier n'a été établie qu'à partir des résultats du monochromateur.

Pour être rendue plus efficace, l'étude comparative des séries statistiques exige la réduction des diverses valeurs à des nombres purs, indépendants des unités de mesure choisies. Une pratique universellement adoptée consiste à prendre pour unité l'écart type et à utiliser à la place de la valeur x du caractère étudié une nouvelle variable t définie par la relation :

$$t = \frac{x - \bar{x}}{S} ,$$

où $\bar{x}$ est la moyenne arithmétique et S l'écart type.

Dans notre représentation graphique, nous avons pris pour $\bar{x}$ la valeur W_0 qui est presque toujours identique à la moyenne arithmétique et qui correspond à la valeur adoptée comme valeur moyenne, et, au lieu de l'écart type, nous avons choisi la valeur e_0 prise comme écart normal pour chaque longueur d'onde. Cette valeur est souvent voisine de l'écart arithmétique ou de l'écart probable, nous avons rejeté l'écart type car sa courbe présentait des irrégularités dues au petit nombre de sujets examinés.

Nous avons donc pris comme valeur d'ordonnée une valeur W_t définie par la relation :

$$W_t = \frac{W - W_0}{e_0}$$

Cette valeur pouvant être positive ou négative, nous l'avons portée de part et d'autre d'un axe médian parallèle à l'axe des abscisses. (Fig. 16) (Courbe obtenue pour l'O. D. du sujet N° 47).

4° - Courbe comparative (Fig. 17 - Id. à Fig. 16).

Cette courbe ressemble beaucoup à la précédente, mais comme elle ne fait pas appel au calcul statistique, nous avons pu l'utiliser pour les résultats obtenus tant avec l'anomaloscope qu'avec le monochromateur. Le principe en est le suivant : Si, pour une longueur d'onde déterminée, on compare le chiffre de sensibilité liminaire du sujet W au chiffre correspondant à la courbe moyenne (vision normale), on peut faire correspondre, à chaque longueur d'onde, un chiffre qui indique l'hypo - ou l'hyper - sensibilité du sujet par rapport à un sujet normal. On peut alors tracer sur un graphique une droite horizontale à mi-hauteur, qui représentera le niveau de vision normale moyenne ; en abscisses seront portées les longueurs d'onde, et en ordonnées, au-dessus ou au-dessous de la droite horizontale, on portera les écarts à la normale. Les points situés au-dessus de l'horizontale représenteront une hyposensibilité, et ceux situés en-dessous une hypersensibilité. L'adoption en ordonnées de $W - W_0$ ne faisait pas ressortir les écarts existant dans le

milieu du spectre visible, nous avons donc préféré porter en ordonnées le logarithme décimal de cette différence ; l'emploi d'une notation logarithmique semble parfaitement défendable.

5° - Représentation logarithmique

Cette méthode de représentation nous a paru intéressante à donner, car elle permet de mieux faire ressortir la dissymétrie de la courbe représentative du sujet anormal.

Pour arriver à ce mode de représentation, on détermine graphiquement, de part et d'autre de 530 $m\mu$ correspondant au maximum de sensibilité trouvé dans nos mesures, 14 couples de valeurs d'égale sensibilité. Ces valeurs ne sont pas rigoureusement les mêmes pour le monochromateur et l'anomaloscope ; elles se répartissent de 542 à 678 $m\mu$ d'une part, et de 515 à 405 $m\mu$ d'autre part pour le monochromateur, et de 545 à 670 $m\mu$ et 510 à 410 $m\mu$ pour l'anomaloscope. Cette répartition montre nettement que la courbe représentative normale de sensibilité que nous avons obtenue n'est pas une courbe en cloche parfaitement régulière.

Pour établir le graphique, on porte sur les deux axes de coordonnées les valeurs d'égale sensibilité déterminées auparavant à partir des valeurs de la courbe expérimentale normale. Ces points sont marqués équidistants sans tenir compte de leur écart réel le long du spectre. On porte en abscisses 14 points correspondant à la zone de 515 à 405 $m\mu$ pour le monochromateur et 510 à 410 $m\mu$ pour l'anomaloscope, et en ordonnées on porte, de même, 14 points correspondant à la zone de 542 à 678 $m\mu$ pour le monochromateur et 545 à 670 $m\mu$ pour l'anomaloscope (voir Tableau I). Ceci fait, on trace la bissectrice de l'angle droit. Pour un sujet normal idéal, tous les points représentatifs trouvent place sur cette droite. Une zone hachurée est située de part et d'autre de la bissectrice ; elle indique les variations qui doivent être considérées comme physiologiquement normales. Pour le monochromateur, celles-ci correspondent à la valeur ϵ_0 définie précédemment ; pour l'anomaloscope nous avons pris la valeur correspondant à une variation d'une demi-division de curseur autour de la valeur choisie comme normale (Fig. 18).

Pour tous les sujets examinés, on calcule pour chaque longueur d'onde la différence entre la réponse du sujet et la courbe moyenne normale, et on prend le logarithme décimal de la valeur trouvée. Cette valeur logarithmique est affectée d'un signe + ou - selon que le sujet est hyposensible ou hypersensible pour la longueur d'onde étudiée. A partir du point correspondant à la valeur normale du couple de valeurs et qui se trouve situé sur la bissectrice tracée auparavant, on porte verticalement les valeurs correspondant aux abscisses, soit au-dessus, soit en dessous de la bissectrice suivant le signe dont est affectée la valeur logarithmique ; et on porte horizontalement les valeurs correspondant aux ordonnées suivant le même processus. Ces deux opérations se font successivement et donnent un point figuratif pour le couple de valeurs envisagé.

Le point I correspondant à la valeur obtenue pour 530 $m\mu$ sera toujours considéré comme faisant partie du vert ; donc le logarithme de la différence $W - W_0$ sera toujours porté verticalement, donnant le point de départ de la courbe du sujet examiné.

On recommence la même opération pour chaque valeur de couple et on obtient ainsi une succession de points que l'on joint les uns aux autres, ce qui donne une ligne brisée.

Dans le cas d'un sujet normal, les points obtenus se situeront sinon sur la bissectrice, du moins pour la presque totalité dans la zone hachurée.

Dans le cas d'un sujet protanope, on obtiendra une courbe représentative qui se placera à droite de la bissectrice ; pour un deutéranope, elle sera au contraire située à gauche de celle-ci.

Pour éviter d'utiliser dans nos calculs des logarithmes à caractéristique négative, nous avons décidé de multiplier par 1000 les valeurs de W obtenues pour le monochromateur. De plus, nous avons constaté que certains sujets examinés ne voyaient pas certaines longueurs d'onde à l'extrémité du spectre, même lorsque l'ouverture du tambour du Pulfrich correspondait à une transmission lumineuse de 100 % ; or, expérimentalement à l'aide de l'anomaloscope, nous avons remarqué que la couleur finissait toujours par être vue par tous les sujets pour une intensité lumineuse suffisante, bien qu'un doute subsiste sur la capacité de discrimination du sujet. Dans ces conditions, il fallait fixer une valeur arbitraire pour cette intensité lumineuse importante, permettant à tout sujet, même anormal, de voir la plage lumineuse qui lui était proposée ; il était en effet indispensable de disposer d'une valeur finie pour pouvoir faire la différence avec la normale et en prendre le logarithme. Nous avons donc décidé arbitrairement de prendre la valeur 100.000 qui reste très grande en face des seuils normaux de perception.

Il est bien évident que le résultat ainsi obtenu n'est pas mathématiquement exact, mais il permet une interprétation graphique des phénomènes que nous étudions et c'est le résultat qui importait principalement dans le domaine de l'expérimentation physiologique qui nous intéresse ici.

Nous insistons aussi sur le fait que nous n'avons conservé que deux chiffres à la mantisse du logarithme, la précision graphique rendant illusoire la présence d'un troisième chiffre qui ne serait pas significatif.

6° - Représentation circulaire

On trace sur une feuille un cercle contenant vingt quatre rayons délimitant entre eux des secteurs égaux. On choisit douze couples de valeurs d'égale sensibilité parmi les plus caractéristiques ; ceci amène à éliminer un certain nombre des valeurs utilisées dans la représentation précédente.

A partir de l'extérieur de ce cercle, on porte le logarithme décimal de l'intensité liminaire (une unité logarithmique = 1 cm) à l'échelle normale de représentation utilisée pour la caractérisation de l'anomalie et on obtient ainsi 24 points qui, réunis les uns aux autres, donnent deux portions de courbe. Dans le cas d'une vision normale, les points s'approchent de plus en plus du centre du cercle en allant de I à XII et de I à XII (voir Tableau II) et les deux surfaces délimitées par les deux portions de courbe sont pratiquement équivalentes (Fig. 19).

Nous avons donc déterminé par méthode planimétrique la surface de Z_1 et de Z_2 à partir de la courbe moyenne de vision normale définie au chapitre précédent. Nous avons trouvé :

$Z_1^\circ = Z_2^\circ = 11$ divisions du planimètre pour le monochromateur soit 440 mm^2 , et $11,5$ divisions pour l'anomaloscope, soit 460 mm^2

Les points numérotés de I à XII correspondent aux longueurs d'onde allant de 515 à $410 \text{ m}\mu$ pour le monochromateur, et de 510 à 410 pour l'anomaloscope, et ceux numérotés de 1 à 12 vont de 542 à $670 \text{ m}\mu$ pour le monochromateur, et 545 à $670 \text{ m}\mu$ pour l'anomaloscope. Si on désigne par Z_1 la superficie délimitée par la zone chaude du spectre, et par Z_2 celle délimitée par la zone froide, on aura dans le cas d'un sujet normal :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = 1 \quad \text{et} \quad \frac{Z_1}{Z_1^\circ} = \frac{Z_2}{Z_2^\circ} = 1$$

Dans le cas d'un protanope, le rapport $\frac{Z_1}{Z_2}$ est nettement inférieur à 1, et dans le cas d'un deutéranope ou d'un tritanope $\frac{Z_1}{Z_2}$ il est supérieur à l'unité, mais moins nettement dans le cas du deutéranope.

7° - Représentation angulaire

On a ici 17 rayons partant d'un point central et couvrant le quart d'une circonférence. Chaque rayon correspond à une longueur d'onde. La fonction utilisée est une fonction logarithmique pondérée :

$$f = (2 \log W) + 1.$$

Pour cette représentation, nous avons gardé uniquement les valeurs expérimentales en supprimant les valeurs obtenues pour $710 \text{ m}\mu$ et $400 \text{ m}\mu$ pour le monochromateur, et $695 \text{ m}\mu$ pour l'anomaloscope. (Fig. 20).

On fait alors le rapport :

$$R = \frac{(2 \log W) + 1}{(2 \log W_0) + 1}$$

et c'est ce rapport que l'on porte graphiquement.

Si le sujet est normal, le rapport est égal à 1. Si le sujet est hypersensible, le rapport est inférieur à l'unité, et si le sujet est hyposensible, le rapport est supérieur à l'unité.

II. - EXAMEN d'un CERTAIN NOMBRE de SUJETS TYPIQUES

A. - EXAMEN de DEUX SUJETS ENTIEREMENT NORMAUX AUX TESTS DE POLACK, ISHIHARA et PSEUDO-ISOCROMATIC.

Nous devons commencer par rappeler les différents examens et les calculs que représente l'étude complète d'un sujet.

Après l'examen aux tests colorés habituels et au test de Farnsworth, le sujet est examiné à l'anomaloscope (vision simultanée des deux yeux, sauf cas spéciaux) et au monochromateur (examen successif des deux yeux, en laissant le sujet libre de commencer l'examen par l'oeil qu'il juge le meilleur).

Nous obtenons alors une fiche de résultats (Tableau III).

A partir de ces résultats expérimentaux, nous établissons une nouvelle fiche pour l'anomaloscope, et deux fiches (une pour chaque oeil) pour le monochromateur. Sur ces fiches, nous portons d'abord les valeurs expérimentales obtenues en se reportant aux courbes d'étalonnage (Chapitre III, Tableaux III et VII) et nous traçons les courbes de vision des couleurs en fonction de l'énergie relative et de l'inverse de cette énergie. A partir de ces courbes expérimentales, nous déterminons graphiquement les valeurs intermédiaires nécessaires pour les autres représentations. Nous calculons ensuite le logarithme décimal de l'énergie, la différence entre le seuil énergétique trouvé pour chacune des longueurs d'onde et la valeur de la courbe moyenne des sujets normaux, le logarithme décimal de cette valeur, et pour chaque résultat expérimental, la valeur de $(2 \log W + 1)$.

On obtient alors les tableaux suivants :

(Tableaux IV, V)

Nous donnons les valeurs pour l'anomaloscope et pour l'oeil droit au monochromateur.

Nous pouvons remarquer que ce sujet a donné plusieurs fois à l'anomaloscope des valeurs identiques à celles de la moyenne des sujets normaux, la différence $W - W_0$ est donc égale à zéro. Mathématiquement, il devient donc impossible d'obtenir le logarithme de cette valeur ; nous avons tourné cette difficulté en admettant qu'il existait dans ce cas une différence égale à 1, ce qui nous donne pour le logarithme de $W - W_0$, la valeur zéro.

Nous préparons ensuite les tableaux permettant de construire les courbes représentatives. Nous donnons les calculs effectués pour l'oeil droit du sujet N°14 au monochromateur (Tableaux VI, VII, VIII, IX).

Examen du sujet N° 14 (M. J. L...)

Le sujet n'a commis aucune erreur aux différents tests pseudo-isochromatiques.

L'examen au test de Farnsworth montre quelques écarts avec la normale, écarts de faible amplitude (le maximum d'écart est de 5), ceux-ci se situent entre 610 et 595 m μ , 580 à 572 m μ , 500 à 475 m μ , ainsi que dans les pourpres rosés.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire en fonction de l'énergie ou de son inverse montrent une hyposensibilité entre 585 et 530 m μ , ainsi qu'à 490 m μ , confirmant en partie les résultats du Farnsworth. (Fig. 21).

La détermination de la surface de vision par rapport à celle obtenue pour la moyenne des sujets normaux donne, après mesure par méthode planimétrique, un rapport de 99 %.

On observe cinq maxima de sensibilité, trois très nets et montrant une sensibilité supérieure à la normale pour 590, 530 et 480 m μ , deux moins accusés pour 550 et 500 m μ ; si l'on tient compte de l'erreur expérimentale possible (1/2 division de curseur), les pointes à 550 et 500 m μ disparaissent et il ne subsiste que trois maxima.

La courbe comparative oscille de part et d'autre de la normale et n'atteint jamais la valeur 2,50. La longueur de la courbe mesurée au curvimètre est assez grande, étant données les variations autour de la normale (55 cm) (*). (Fig. 111).

La courbe logarithmique ne s'éloigne jamais beaucoup de la normale. Seuls les points 4, 12, 13, 14, 15 sont en dehors de la zone ombrée à droite de la bissectrice, ce qui signifie une hyposensibilité relative pour 558, 629, 640 et 670 m μ . La longueur de la courbe est de 18 cm, ce qui correspond à une des plus faibles valeurs trouvées. (Fig. 165).

La représentation circulaire donne pour Z_1 un rapport de 98 % avec la moyenne des sujets normaux, et pour Z_2 : 103 % ; le rapport :

$$\frac{Z_1}{Z_2} \text{ est donc de } 0,96, \text{ c'est-à-dire très voisin de l'unité. (Fig. 273)}$$

La représentation angulaire montre des oscillations de part et d'autre de la normale, oscillations faibles puisque variant de 0,92 à 1,13. La courbe est très courte et a une longueur de 15 cm. (Fig. 219).

(*) Toutes les mesures planimétriques ou curvimétriques ont été effectuées sur des graphiques dressés sur papier millimétré format 21 x 27.

Examen au monochromateur

Courbes de sensibilité liminaire. - Contrairement aux résultats obtenus avec l'anomaloscope où nous trouvions successivement des hypersensibilités et des hyposensibilités, le sujet se montre hypersensible dans presque tout le spectre.

L'oeil droit présente quatre maxima de sensibilité, situés respectivement à 580, 530, 490 et 440 $m\mu$; l'oeil gauche n'en a que trois, situés à 640, 530 et 440 $m\mu$. (Fig. 39 et 40).

La détermination de la surface de vision, effectuée comme pour l'anomaloscope, montre une grande hypersensibilité : 805 % pour l'oeil droit et 830 % pour l'oeil gauche.

Les courbes tirées du calcul statistique montrent peu de variations autour de la normale, sauf dans le violet extrême. Ces variations ne dépassent 2,50 que dans le violet. (Fig. 75 et 76)

Il en est de même pour les courbes comparatives, la courbe se trouvant toujours au-dessous de la normale, sauf aux extrémités du spectre. La longueur des courbes est de 35 cm pour l'oeil droit et de 16 cm pour l'oeil gauche, valeur très faible montrant la régularité de l'hypersensibilité dans tout le spectre (Fig. 129 et 130).

Les courbes logarithmiques sont plus régulières que celle obtenue avec l'anomaloscope. Nous trouvons pour l'oeil droit trois points (1, 14 et 15) situés hors de la zone ombrée, correspondant à une hypersensibilité pour 530 $m\mu$, et à une hyposensibilité pour 670 et 678 $m\mu$. Il n'y a que deux points en dehors de la zone ombrée pour l'oeil gauche : 1 et 15. Les longueurs des courbes sont de 23 cm pour l'oeil droit et 21 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 183 et 184).

La représentation circulaire confirme l'hypersensibilité. On trouve pour l'oeil droit 122 % pour Z_1 et Z_2 , soit un rapport de 1, et pour l'oeil gauche 141 % pour Z_1 et 113 %¹ pour Z_2 , soit un rapport de 1,25, ce qui montre une hypersensibilité plus grande dans le rouge (Fig. 291 et 292).

Un examen superficiel des résultats fait apparaître une contradiction apparente entre les 805 % et 830 % obtenus pour l'aire de la courbe en fonction de $1/W$ et les 122 % de l'O.D. et les 141 % et 113 % de l'O.G. dans la représentation circulaire. Cette contradiction apparente s'explique facilement en rappelant que la représentation circulaire s'effectue à partir des logarithmes décimaux des valeurs ayant servi à construire la courbe en fonction de $1/W$. Les deux systèmes ne sont donc pas comparables.

La représentation angulaire montre des oscillations plus fortes que dans le cas de l'anomaloscope, les valeurs allant de 0,41 à 1,10 pour l'oeil droit, et de 0,46 à 1,03 pour l'oeil gauche. La longueur des courbes est respectivement de 16 cm pour l'oeil droit et de 14 cm pour l'oeil gauche. Ces valeurs confirment que l'oeil gauche est légèrement plus sensible que l'oeil droit (Fig. 237 et 238).

Examen du sujet N° 47. - (Melle J. Lem. ...)

Le sujet n'a commis aucune erreur aux différents tests pseudo-isochromatiques.

L'examen au test de Farnsworth montre des écarts un peu plus nombreux que dans le cas précédent ; un des points est égal à 6 et les zones de confusion sont assez différentes de celles du sujet précédent : elles sont situées entre 580 et 572 m μ , 568 et 560, 555 et 510, 498 et 492, 480 à 475, 450 à 445 m μ et dans le pourpre violacé. Les deux zones les plus importantes se situent vers 575 m μ et vers 545 m μ .

Examen à l'anomaloscope.

La courbe de sensibilité liminaire en fonction de l'énergie ou de son inverse montre une hyposensibilité entre 600 et 540 m μ vers 510, 480 et 460 m μ . La détermination de la surface de vision donne une valeur de 141%.

On observe cinq maxima de sensibilité se situant respectivement à 615, 530, 490, 470 et 435 m μ , le plus accentué étant celui de 530 m μ . En tenant compte de l'erreur expérimentale possible, la pointe à 470 m μ est discutable (Fig. 22).

La courbe comparative montre des oscillations de part et d'autre de la normale, les valeurs restant inférieures à 2,50, sauf aux extrémités où le sujet est hypersensible ; la longueur de la courbe est de 65 cm. (Fig. 112).

La courbe logarithmique fait apparaître quatre points en dehors de la zone ombrée (1, 5, 8, 10). Il y a hypersensibilité pour 530 m μ , et hyposensibilité pour 569, 590 et 450 m μ , cette hyposensibilité s'accompagnant d'une hypersensibilité dans la portion symétrique du spectre. La courbe revient brusquement sur elle-même entre les points 9 et 11, le sujet devenant hypersensible après avoir été hyposensible ; la longueur de la courbe est de 29 cm. (Fig. 168).

La représentation circulaire confirme l'hypersensibilité du sujet. On obtient 105 % pour Z₁ et 109 % pour Z₂, ce qui donne un rapport de 0,96, identique à celui trouvé pour le N° 14, bien que les courbes soient différentes. (Fig. 274)

La représentation angulaire montre des oscillations assez réduites de part et d'autre de la normale, les valeurs obtenues allant de 0,78 à 1,08 ; la longueur de la courbe est de 18 cm. (Fig. 220).

Examen au monochromateur.

Courbes de sensibilité liminaire. - Comme pour l'anomaloscope, on observe une succession de zones d'hypersensibilité et d'hyposensibilité. Il y a trois maxima pour l'oeil droit (640, 530 et 490 $m\mu$) et cinq maxima pour l'oeil gauche (610, 530, 470, 440 et 415 $m\mu$). Les maxima de 640 $m\mu$ pour l'oeil droit et 440 et 415 $m\mu$ pour l'oeil gauche sont peu marqués. Les mesures planimétriques donnent une sensibilité de 117 % pour l'oeil droit et de 144 % pour l'oeil gauche. (Fig. 41 et 42).

Les courbes tirées au calcul statistique montrent peu de variations autour de la normale, les valeurs obtenues étant toujours inférieures à 2,50. (Fig. 77 & 78)

Les courbes comparatives ont le même aspect, mais les valeurs obtenues dépassent 2,5 pour 675 $m\mu$ dans le cas de l'oeil droit ; les longueurs respectives des courbes sont de 44 cm pour l'oeil droit et de 61 cm pour l'oeil gauche, ce qui confirme une courbe plus irrégulière de l'oeil gauche. (Fig. 131, 132).

Les courbes logarithmiques s'écartent davantage de la normale que celles du sujet précédent. Pour l'oeil droit, ce sont les points 3, 4, 5 et 15 qui sont en dehors de la zone ombrée, ce qui correspond à une hyposensibilité entre 580 et 550 $m\mu$ et pour 675 $m\mu$. Les écarts sont moins marqués pour l'oeil gauche, et correspondent aux points 1, 4, 5 et 15. Il y a hypersensibilité pour 530 $m\mu$, et hyposensibilité pour 565, 575 et 675 $m\mu$; les longueurs des courbes sont de 27 cm pour l'oeil droit et de 29 cm pour l'oeil gauche (Fig. 185 et 186)

La représentation circulaire confirme une légère hypersensibilité du sujet, plus marquée pour les courtes longueurs d'onde. On a pour l'oeil droit 98 % pour Z_1 et 104 % pour Z_2 , soit un rapport de 0,95, et pour l'oeil gauche 103 % pour Z_1 et 105 % pour Z_2 , soit un rapport de 0,98 (Fig. 293 et 294).

La représentation angulaire montre que les variations autour de la normale sont peu importantes et vont de 0,84 à 1,10 pour l'oeil droit, et de 0,82 à 1,12 pour l'oeil gauche ; les longueurs des courbes sont de 15 cm pour les deux yeux. (Fig. 239 et 240).

B. - EXAMEN DE TROIS SUJETS PROTANOPE

Nous verrons, par la suite, les résultats obtenus en faisant la moyenne des réponses des différents sujets de type Dalton, mais il nous a paru nécessaire de discuter en détail les réponses individuelles de trois sujets protanopes ; nous avons choisi trois cas aussi dissemblables que possible, bien que rentrant dans la même catégorie, afin de montrer avec quelle prudence on doit aborder l'étude de ces anomalies et surtout l'interprétation des résultats.

Examen du sujet N° 88 (M. P. Br...)

Le sujet donne aux tests de Polack toutes les réponses du type Dalton et quelques réponses du type Nagel ; il en est de même aux tests de Ishihara et aux tests H. R. R.

L'examen au test de Farnsworth montre des erreurs de discrimination assez importantes dans tout le spectre et dans la zone des pourpres, sauf entre 480 et 440 $m\mu$, l'écart de plus important est de 10 pour 580 $m\mu$. Le sujet présente donc à la fois des caractéristiques du type Dalton et du type Nagel, le type Dalton étant nettement plus accusé.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une hyposensibilité très nette de 710 à 540 $m\mu$, ainsi que pour 500 $m\mu$. Il y a trois maxima de sensibilité très marqués pour 510, 490 et 450 $m\mu$. La détermination de la surface de vision donne un rapport de 128% avec la moyenne normale. Le sujet a donc une vision totale légèrement supérieure à la normale mais nettement déséquilibrée. (Fig. 23).

La courbe comparative confirme le déséquilibre entre l'hyposensibilité dans le rouge et l'hypermensibilité dans le bleu ; la valeur 2,50, qui n'était que rarement atteinte pour les sujets normaux, se trouve dépassée dans le rouge ; la longueur de la courbe est de 55 cm, ce qui correspond à une valeur moyenne. (Fig. 113).

La courbe logarithmique se trouve presque entièrement située à droite de la normale ; seuls les points 3 et 4 sont dans la zone ombrée, mais de l'autre côté de la normale, ce qui correspond au manque de sensibilité vers 500 $m\mu$; la courbe (32 cm) est légèrement plus longue que celle des sujets normaux. (Fig. 167).

La représentation circulaire donne, comme on pouvait s'y attendre, une

valeur de Z_1 inférieure à la normale (89 %), et une valeur de Z_2 supérieure à la normale (102 %). Le rapport est de 0,82, donc inférieur à 1. Nous trouvons une contradiction apparente avec la valeur de 128 % par rapport à la vision normale, cette différence est due à la non-utilisation dans la représentation circulaire de la portion du spectre comprise entre 545 et 510 $m\mu$ zone qui, pour ce sujet, correspond à une hypersensibilité. (Fig. 275)

La représentation angulaire montre des variations assez importantes autour de la normale, les valeurs extrêmes allant de 0,70 pour 450 $m\mu$ à 1,25 pour 650 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 15 cm. (Fig. 221)

Examen au monochromateur

Courbes de sensibilité liminaire. - Il existe une différence assez marquée entre l'oeil droit et l'oeil gauche. L'oeil droit ne présente qu'un maximum de sensibilité très supérieur à la normale pour 510 $m\mu$ et se montre légèrement plus sensible au total que la moyenne des sujets normaux (107 %). L'oeil gauche présente trois maxima de sensibilité situés à 510, 450 et 420 $m\mu$, celui de 510 $m\mu$ étant de beaucoup le plus accusé, la surface de vision n'est que de 96 % par rapport à la normale. (Fig. 43 et 44).

Les courbes tirées du calcul statistique sont presque identiques pour les deux yeux et montrent un déséquilibre marqué entre les deux moitiés du spectre visible ; l'hyposensibilité est telle pour les grandes longueurs d'onde que les courbes sortent du graphique. On observe une hypersensibilité modérée entre 520 et 420 $m\mu$, avec, pour l'oeil gauche, une zone d'hyposensibilité vers 430 $m\mu$ (Fig. 79 et 80).

Les courbes comparatives ont la même allure que les précédentes, les valeurs dans le rouge dépassent 2,50 ; la longueur de la courbe n'est que de 32 cm pour l'oeil droit, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'oscillations dans la courbe, alors que celle de l'oeil gauche a une longueur de 46 cm, l'allongement provenant du point d'hyposensibilité à 430 $m\mu$. (Fig. 133, 134).

Les courbes logarithmiques sont situées à droite de la normale en dehors de la zone ombrée, à l'exception du point 1 pour l'oeil droit, et des points 1, 2 et 10 pour l'oeil gauche, le point 1 étant en zone Nagel pour cet oeil ; les longueurs respectives sont de 28 cm pour l'oeil droit et de 32 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 187 et 188).

Les représentations circulaires accusent une disproportion encore plus marquée pour Z_1 et Z_2 qu'avec l'anomaloscope. Nous obtenons pour l'oeil droit $Z_1 = 72\%$ et $Z_2 = 117\%$, soit un rapport de 0,62, et pour l'oeil gauche $Z_1 = 71\%$ et $Z_2 = 115\%$, soit le même rapport de 0,62. (Fig. 295 et 296).

Les représentations angulaires montrent des variations assez importantes qui vont pour l'oeil droit de 0,77 pour 510 $m\mu$ à 1,38 pour 580 $m\mu$, et pour l'oeil gauche de 0,81 à 510 $m\mu$, à 1,37 pour 675 $m\mu$; les longueurs des courbes sont de 14 cm pour l'oeil droit et de 15 cm pour l'oeil gauche (Fig. 241 et 242).

Examen du sujet N° 98. (M. B. T...)

Le sujet examiné répond aux tests de Polack et d'Ishihara conformément au type Dalton, trois planches sont lues aux tests de Polack conformément au type Nagel; quant aux tests H. R. R., ils indiquent une anomalie très prononcée.

L'examen au test de Farnsworth montre des erreurs dans tout le spectre, sauf entre 505 et 485 $m\mu$, mais les écarts sont peu importants et ne dépassent jamais 5.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une hyposensibilité très nette avec deux zones réduites d'hypersensibilité autour de 530 $m\mu$ et de 450 $m\mu$. On observe une légère pointe vers 580 $m\mu$, qui correspond à une hyposensibilité moins marquée. La surface de vision est seulement de 88 % par rapport à la moyenne normale. (Fig. 24)

La courbe comparative met en relief les deux zones d'hypersensibilité dans le vert et le bleu, et les valeurs dans le rouge dépassent 2,50 (Fig. 114).

La courbe logarithmique se trouve à droite de la normale, à l'exception du point 15 qui est en zone Nagel, les points 5, 6, 7, 8, 12 et 13 sont dans la zone ombrée, ce qui montre une anomalie compensée entre 570 et 590 $m\mu$ d'une part, et 490 et 470 $m\mu$ d'autre part. (Fig. 168)

La représentation circulaire donne pour Z_1 une valeur de 83,5 %, et pour Z_2 une valeur de 100 %, ce qui signifie que les zones d'hypersensibilité compensent exactement les zones d'hyposensibilité; le rapport est donc de 0,83. (Fig. 276).

La représentation angulaire montre des variations assez importantes, allant de 0,87 pour 530 $m\mu$ à 1,25 pour 550 $m\mu$; la longueur de la courbe est, comme pour la plupart des sujets, de 15 cm. (Fig. 222).

Examen au monochromateur

Courbes de sensibilité liminaire. - L'étude des courbes de sensibilité liminaire montre une extrême hypersensibilité entre 560 et 460 $m\mu$, avec un maximum

très marqué à $510\text{ m}\mu$ pour les deux yeux, et pour l'oeil gauche un autre maximum moins marqué à $475\text{ m}\mu$. L'hypersensibilité est telle qu'on obtient pour l'oeil droit une surface de vision de 300 % et pour l'oeil gauche de 288 %. (Fig. 45 & 46)

Les courbes tirées du calcul statistique mettent en évidence une zone de vision des couleurs très réduite, entre 580 et $460\text{ m}\mu$ (Fig. 81 et 82).

Les courbes comparatives présentent des valeurs supérieures à 2,50 aux deux extrémités du spectre, ainsi que dans le rouge et le jaune ; les longueurs des courbes sont respectivement de 43 cm pour l'oeil droit et de 40 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 135 et 136).

Les courbes logarithmiques sont situées entièrement à droite de la normale, mais la moitié des points se trouve dans la zone ombrée, points 2, 3, 4 et 9 à 12, ce qui montre une déficience compensée dans deux régions du spectre. Le grand écart avec la normale que présentent les points 5 et 6 est dû à l'hyposensibilité dans le rouge, alors qu'il y a hypersensibilité dans le bleu ; la longueur des courbes est de 30 cm pour l'oeil droit et de 31 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 189 et 190).

Les représentations circulaires indiquent une déficience très marquée pour les deux yeux. On obtient pour l'oeil droit 59 % pour Z_1 et 91 % pour Z_2 , soit un rapport de 0,65 ; pour l'oeil gauche $Z_1 = 66\%$ et $Z_2 = 98\%$, ce qui donne un rapport de 0,68. Comme nous l'avons déjà vu, il y a une contradiction apparente entre ces résultats et ceux provenant des courbes de sensibilité liminaire (Fig. 297 et 298).

Les représentations angulaires font apparaître des variations très importantes ; les valeurs extrêmes sont pour l'oeil droit : 0,51 à $510\text{ m}\mu$ et 1,95 à $580\text{ m}\mu$, et pour l'oeil gauche : 0,51 à $510\text{ m}\mu$ et 1,73 à $640\text{ m}\mu$; les longueurs des courbes sont en augmentation par rapport aux autres sujets déjà vus : on obtient 26 cm pour l'oeil droit et 23 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 243 et 244).

Examen du sujet N° 11 (M. J. E...)

Le sujet examiné répond aux tests de Polack conformément au type Dalton, mais aux tests de Ishihara selon le type Nagel. L'examen aux tests H.R.R. confirme le type Dalton.

Le test de Farnsworth montre des erreurs importantes dans presque tout le spectre, sauf entre 570 et $495\text{ m}\mu$; les écarts avec la normale sont surtout marqués dans le jaune et le bleu où l'on atteint le chiffre 20.

Examen à l'anomalouscope

Les courbes de sensibilité lumineuse font apparaître une hyposensibilité entre 700 et 600 m μ et entre 540 et 505 m μ , avec une hypersensibilité très nette dans les autres régions du spectre. Les maxima de sensibilité, au nombre de trois, sont situés à 550, 490 et 450 m μ , le plus marqué étant celui de 490 m μ . Le sujet présente, au total, une vision supérieure à la moyenne normale, le rapport des surfaces étant de 150 % (Fig. 25).

La courbe comparative fait ressortir les zones d'hyposensibilité ; la valeur 2,50 est dépassée dans le rouge ; la longueur de la courbe est de 41 cm. (Fig. 115).

La courbe logarithmique est irrégulière : les quatre premiers points sont à gauche de la normale, comme dans le cas d'un sujet Nagel, les quatre points suivants sont à droite de la normale dans la zone ombrée, et les points suivants s'écartent brusquement de la normale pour y revenir à partir du point 13 ; la longueur de la courbe est de 29 cm (Fig. 169).

La représentation circulaire montre que le déséquilibre vient moins d'une perte dans le rouge que d'une trop grande sensibilité dans le bleu ; nous trouvons pour I_1 la valeur 105 % et pour I_2 la valeur 116,5 %, ce qui donne, comme dans le cas des deux autres protanopes étudiés, un rapport inférieur à 1 (0,90). (Fig. 277).

La représentation angulaire donne des variations moins accusées que pour les deux autres protanopes, les valeurs extrêmes sont : 0,74 pour 450 m μ et 1,13 pour 680 m μ ; la longueur de la courbe est de 15 cm (Fig. 223).

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité lumineuse montrent une différence très nette entre l'œil droit et l'œil gauche ; le premier fait apparaître une hyposensibilité dans le rouge, avec une très forte hypersensibilité à partir de 580 m μ et trois maxima à 550, 490 et 440 m μ , ce qui donne un rapport avec la surface de vision normale de 340 % ; dans le cas de l'œil gauche, il n'y a que deux zones d'hypersensibilité pour 450 et 410 m μ , tout le reste est hyposensible, mais l'augmentation de sensibilité à 490 m μ est telle que le rapport des surfaces est encore de 105 %. (Fig. 47 - 48).

Les courbes tirées du calcul statistique mettent en évidence la déficience plus marquée de l'œil gauche, une grande partie de la courbe étant en dehors du graphique, alors que pour l'œil droit, seul le point correspondant à 675 m μ se trouve en dehors (Fig. 83 et 84).

Les courbes comparatives confirment le déséquilibre entre les deux yeux : on observe dans les deux cas des valeurs supérieures à 2,50 dans le rouge, mais pour l'oeil gauche ce manque de sensibilité se prolonge dans le jaune et le vert ; les longueurs des courbes sont de 33 cm pour l'oeil droit et de 48 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 137 et 138).

Les courbes logarithmiques sont, elles aussi, différentes pour les deux yeux. Celle de l'oeil droit répond au type Dalton, à part les points 2, 3, 4 et 5 la courbe est entièrement située à droite de la normale et en dehors de la zone ombrée. Quant à l'oeil gauche, le premier point est dans la zone Nagel, et seuls les points 4 et 11 à 15 sont dans la zone Dalton ; les longueurs des courbes sont de 28 cm pour l'oeil droit et 35 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 191 et 192)

Les représentations circulaires confirment le type Dalton. On obtient pour l'oeil droit $Z_1 = 91 \%$ et $Z_2 = 110 \%$, soit un rapport de 0,82, et pour l'oeil gauche $Z_1 = 71 \%$ et $Z_2 = 103 \%$, soit un rapport de 0,69. (Fig. 299 et 300)

Les représentations angulaires présentent de fortes variations qui vont, pour l'oeil droit, de 0,61 à 550 $m\mu$ à 1,37 pour 675 $m\mu$, et pour l'oeil gauche de 0,72 à 490 $m\mu$ à 1,58 à 675 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 15 cm pour l'oeil droit et de 20 cm pour l'oeil gauche (Fig. 245 et 246).

C. - EXAMEN DE TROIS SUJETS DEUTERANOPES

Nous nous contenterons d'examiner en détail les résultats obtenus avec trois sujets, comme pour les protanopes, mais nous devons signaler qu'une diversité beaucoup plus grande semble exister pour les deutéranopes que pour les protanopes.

Examen du sujet N° 87 (M. F. Be...)

Ce sujet répond aux tests de Polack et d'Ishihara, conformément au type Nagel. Le diagnostic est confirmé par les tests H. R. R. qui indiquent une forte anomalie.

L'examen au test de Farnsworth montre des erreurs dans tout le spectre ainsi que dans les pourpres, la pointe la plus marquée se situant à 475 $m\mu$ avec la valeur 12.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent une hyposensibilité dans presque tout le spectre, en particulier pour 500 $m\mu$. On observe quatre maxima de sensibilité pour 615, 550, 480, et 465 $m\mu$, mais seuls les deux extrêmes cor-

respondent à une légère hypersensibilité, les deux autres maxima étant en-dessous de la moyenne normale, ce qui donne une surface de vision de 65 % seulement par rapport à la moyenne des sujets normaux (Fig. 26).

La courbe comparative est régulièrement au-dessus de la normale (sujet hyposensible) sauf pour 675, 620 et 465 $m\mu$. Les valeurs de la comparative dépassent 2,50 à 500 $m\mu$; la courbe est très allongée (60 cm). (Fig. 116)

La courbe logarithmique se trouve située à gauche de la normale, sauf pour le point 9 qui est dans la zone Dalton, et le point 7 qui se trouve dans la zone ombrée à droite de la normale. Seuls les six premiers points et les deux derniers sont en dehors de la zone ombrée, ce qui montre que le sujet est hyposensible au vert et au violet, mais presque normal dans le bleu; la longueur de la courbe est de 33 cm. (Fig. 170)

La représentation circulaire met en évidence l'hyposensibilité générale du sujet avec une déficience plus marquée pour les courtes longueurs d'onde. On obtient pour Z_1 96 % et pour Z_2 83 % ce qui donne un rapport de 1,15, assez nettement supérieur à l'unité. (Fig. 278)

La représentation angulaire montre de grandes variations avec une hyposensibilité marquée dans le milieu du spectre, les valeurs extrêmes sont 0,95 pour 680 $m\mu$ et 1,41 pour 500 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 19 cm. (Fig. 224)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une différence assez marquée entre les deux yeux.

L'oeil droit a une hypersensibilité très marquée dans le rouge, une perte de sensibilité au milieu du spectre avec une pointe d'hypersensibilité à 460 $m\mu$. Il y a deux maxima : un très accentuée pour 610 $m\mu$, et un autre plus discret pour 460 $m\mu$. La surface de vision est supérieure à la vision normale (134 %). L'oeil gauche présente, lui aussi, une hypersensibilité dans le rouge mais celle-ci ne suffit pas à compenser l'hyposensibilité dans le reste du spectre, le rapport de surface avec la vision normale est en effet de 94 % seulement. Il y a cinq maxima de sensibilité pour 640, 580, 530, 490 et 460 $m\mu$, mais les maxima de 530 et 490 sont inférieurs à la moyenne normale (Fig. 49 et 50).

Les courbes tirées du calcul statistique font ressortir une hypersensibilité dans le rouge et une hyposensibilité marquée dans le vert, avec des valeurs dépassant 2,50 surtout pour l'oeil gauche, la courbe sort du graphique par hyposensibilité à 415 $m\mu$. (Fig. 85 et 86).

Les courbes comparatives sont presque superposables pour les deux yeux et montrent l'hyposensibilité du sujet dans le vert et le bleu-vert, et l'hypersensibilité dans le rouge et le jaune, la valeur 2,50 n'est pas atteinte pour la partie hyposensible ; les longueurs des courbes sont respectivement de 43 cm pour l'oeil droit et de 44 cm pour l'oeil gauche (Fig. 139 et 140).

Les courbes logarithmiques sont entièrement situées à gauche de la normale, mais les cinq premiers points sont dans la zone ombrée, c'est-à-dire que l'hyposensibilité est presque la même pour la zone allant de 542 à 575 $m\mu$, et de 515 à 475 $m\mu$. Les longueurs des courbes sont de 22 cm pour l'oeil droit et de 27 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 193 et 194).

Les représentations circulaires sont ressortir l'hypersensibilité dans les grandes longueurs d'onde, et l'hyposensibilité dans le vert et le bleu. On obtient pour l'oeil droit $Z_1 = 121 \%$ et $Z_2 = 92 \%$, soit un rapport de 1,31 ; pour l'oeil gauche : $Z_1 = 115 \%$ et $Z_2 = 90 \%$, soit un rapport de 1,28. (Fig. 301 et 302)

Les représentations angulaires montrent des variations beaucoup plus importantes que celles obtenues avec l'anomaloscope. On a pour l'oeil droit les valeurs extrêmes de 0,64 pour 610 $m\mu$ et de 1,60 pour 410 $m\mu$, avec des valeurs de 1,17 dans le vert. On trouve pour l'oeil gauche des variations un peu moins accusées, allant de 0,78 pour 650 $m\mu$ à 1,60 pour 410 $m\mu$, avec des valeurs identiques dans le vert. Les longueurs des courbes sont de 18 cm pour les deux yeux. (Fig. 247 et 248).

Examen du sujet N° 38. (M. J. R...)

Ce sujet répond aux tests de Polack et d'Ishihara, conformément au type Nagel. Ce diagnostic est confirmé par l'examen aux tests de H. R. R. qui indique une anomalie moins prononcée que pour le sujet précédent.

L'examen au test de Farnsworth montre des erreurs dans tout le spectre, à l'exception d'une zone comprise entre 560 et 530 $m\mu$; les valeurs obtenues ne dépassent pas 8 pour 588 et 475 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent une hyposensibilité dans tout le spectre, à l'exception de 590 $m\mu$. On observe trois maxima de sensibilité situés à 590, 530 et 450 $m\mu$; seul le maximum de 590 $m\mu$ montre une sensibilité supérieure à la normale. La surface de vision correspond seulement à 62 % de la normale (Fig. 27)

La courbe comparative se trouve située toujours au-dessus de la normale

sauf pour $590\text{ m}\mu$ où le sujet est hypersensible. On obtient des valeurs supérieures à $2,50$ vers $460\text{ m}\mu$ et au-delà de $420\text{ m}\mu$; la longueur de la courbe est de 41 cm . (Fig. 117)

La courbe logarithmique se trouve toujours à gauche de la normale, mais seuls les points 1, 6, 7, 8, 9, 14 et 15 sont en dehors de la zone ombrée ; la longueur de la courbe est de 26 cm . (Fig. 171)

La représentation circulaire montre une hyposensibilité dans presque tout le spectre, avec des valeurs de 92% pour Z_1 et 82% pour Z_2 , soit un rapport de $1,12$ (Fig. 279)

La représentation angulaire est située entièrement à l'extérieur du quart de cercle figurant la normale, à part les points correspondant à 710 et $590\text{ m}\mu$. Les valeurs extrêmes sont $0,90$ pour $590\text{ m}\mu$ et $1,44$ pour $480\text{ m}\mu$. La longueur de la courbe est de 29 cm . (Fig. 225)

Examen au monochromateur

L'examen des courbes de sensibilité liminaire fait apparaître, contrairement au sujet précédent, une grande analogie entre les deux yeux. Ils présentent tous deux une hypersensibilité dans le jaune avec un maximum très net pour $580\text{ m}\mu$. Ils sont ensuite hyposensibles dans le vert, le bleu et le violet ; on observe encore un maximum relatif peu marqué à $460\text{ m}\mu$ pour l'oeil droit et deux maxima peu accusés à 490 et $460\text{ m}\mu$ pour l'oeil gauche. Les surfaces de vision par rapport à la normale sont de 129% pour l'oeil droit et de 119% pour l'oeil gauche. (Fig. 51 et 52).

Les courbes tirées du calcul statistique diffèrent dans le rouge extrême, celle de l'oeil droit étant très voisine de la normale, alors que celle de l'oeil gauche montre une hypersensibilité marquée. Les zones d'hyposensibilité dans le vert et le bleu dépassent souvent $2,50$. Enfin, le violet n'est absolument pas perçu. (Fig. 87 et 88)

Les courbes comparatives mettent en évidence l'hypersensibilité dans le rouge et le jaune avec l'hyposensibilité à partir de $540\text{ m}\mu$, mais la valeur $2,50$ n'est qu'exceptionnellement dépassée pour l'oeil droit vers $420\text{ m}\mu$. Les courbes sont relativement courtes (32 cm pour l'oeil droit et 31 cm pour l'oeil gauche). (Fig. 141 et 142)

Les courbes logarithmiques ont tous leurs points situés à gauche de la normale et tous les points sont en dehors de la zone ombrée, à part le premier point pour l'oeil droit et le deuxième pour l'oeil gauche. Les courbes sont relativement courtes parce que sans sinuosités : on a 22 cm pour l'oeil droit et 31 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 195 et 196)

Les représentations circulaires confirment l'hypersensibilité dans les grandes longueurs d'onde, contrastant avec l'hyposensibilité dans le reste du spectre. Nous trouvons pour l'oeil droit $Z_1 = 103 \%$, $Z_2 = 91 \%$, soit un rapport de 1,12, et pour l'oeil gauche $Z_1 = 107 \%$, $Z_2 = 89 \%$, soit un rapport de 1,20, donc un déséquilibre encore plus marqué. (Fig. 303 et 304)

Les représentations angulaires sont, à partir de $580 \text{ m}\mu$, à l'extérieur de la normale. Les écarts sont plus marqués qu'à l'anomaloscope : on a comme valeurs extrêmes $0,68$ à $580 \text{ m}\mu$ et $1,65$ à $415 \text{ m}\mu$ pour l'oeil droit, et pour l'oeil gauche : $0,73$ à $580 \text{ m}\mu$ et $1,61$ à $410 \text{ m}\mu$; les longueurs des courbes sont de 21 cm pour l'oeil droit et de 20 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 249 et 250)

Examen du sujet N° 12 (M. M. Ber...)

Les réponses obtenues avec les tests de Polack et d'Ishihara correspondent au type Nagel, mais le sujet ne voit pas, en outre, certaines planches, se comportant ici comme un type Dalton. Les tests H. R. R. confirment le type Nagel.

L'examen au test de Farnsworth donne des erreurs dans tout le spectre et dans les pourpres, les erreurs sont tellement importantes que certaines valeurs sont au-delà de celles prévues par le constructeur du test. La valeur la plus élevée existant dans le test est 15. Or, nous obtenons la valeur 19 pour $572 \text{ m}\mu$ et les valeurs 16 et 17 pour 490, 485, 483 et $478 \text{ m}\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent que le sujet est hyposensible dans tout le spectre, à l'exception d'une bande étroite à $590 \text{ m}\mu$. L'hyposensibilité est surtout marquée vers $500 \text{ m}\mu$. Outre le maximum de sensibilité à $590 \text{ m}\mu$, on observe trois autres maxima de sensibilité à 530, 490 et $470 \text{ m}\mu$ mais qui restent toujours inférieurs à la moyenne normale. La surface de vision n'est que 63 % de la vision normale. (Fig. 28)

La courbe comparative met en relief une petite zone d'hypersensibilité vers $590 \text{ m}\mu$, avec hyposensibilité très marquée dans le reste du spectre, la valeur 2,50 est plusieurs fois dépassée dans le vert et le bleu ; la longueur de la courbe est de 47 cm . (Fig. 118)

La courbe logarithmique est presque toujours à gauche de la normale mais seulement six points sont en dehors de la zone ombrée, soit les points 1, 7, 8, 9, 14 et 15 ; la longueur de la courbe est de 27 cm . (Fig. 172)

La représentation circulaire donne pour Z_1 : 101 % et pour Z_2 : 90 % soit un rapport de 1,12 ; pour Z_2 la courbe est toujours à l'intérieur de la normale. (Fig. 280)

La représentation angulaire montre un sujet partout hyposensible, sauf pour 590 m μ où nous avons la valeur 0,82, la valeur la plus élevée étant 1,50 pour 500 m μ . La longueur de la courbe est de 20 cm. (Fig. 226)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire sont très différentes pour les deux yeux mais révèlent dans les deux cas un sujet hyposensible. L'oeil droit est hyposensible dans tout le spectre mais davantage à partir de 530 m μ . Le maximum de sensibilité, d'ailleurs inférieur à la normale, reste à 530 m μ . L'oeil gauche présente deux maxima à 550 et 450 m μ , ce dernier point étant le seul où il est hypersensible, et une légère pointe à 640 m μ . Les surfaces de vision sont très inférieures à la normale : nous obtenons 54 % pour l'oeil droit et 38 % pour l'oeil gauche. (Fig. 53 et 54)

Les courbes tirées du calcul statistique sont entièrement au-dessus de la normale, à part le point correspondant à 450 m μ pour l'oeil gauche, les valeurs obtenues sont très élevées et donnent des pointes sortant du graphique (Fig. 89 & 90)

Les courbes comparatives confirment l'hyposensibilité marquée pour les deux yeux, avec de nombreux points au-dessus de 2,5 ; la longueur des courbes est de 31 cm pour l'oeil droit et de 44 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 143 et 144)

Les courbes logarithmiques oscillent de part et d'autre de la normale avec le point 7 en zone Dalton pour l'oeil gauche, la longueur des courbes est de 26 cm pour l'oeil droit et de 31 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 197 et 198)

Les représentations circulaires montrent une diminution de la sensibilité dans tout le spectre, mais plus accusée dans le vert, le bleu et le violet. Nous avons en effet, pour l'oeil droit : $Z_1 = 75\%$ et $Z_2 = 72\%$, ce qui donne un rapport de 1,04 et pour l'oeil gauche : $Z_1 = 88\%$ et $Z_2 = 84\%$, soit un rapport de 1,05. Nous obtenons encore ici un rapport supérieur à l'unité mais beaucoup plus faible que pour les deux autres sujets. (Fig. 305 et 306)

Les représentations angulaires sont assez semblables, les valeurs extrêmes sont 1,03 à 580 m μ et 1,65 à 415 m μ pour l'oeil droit, et 0,89 à 450 m μ et 1,60 à 410 m μ pour l'oeil gauche. Il faut noter que l'on obtient pour l'oeil gauche 1,37 dans le vert, ce qui montre une hyposensibilité plus accusée que pour l'oeil droit ; la longueur des courbes est de 17 cm pour les deux yeux.

Les réponses aux tests H. R. R. devraient nous faire classer les sujets dans l'ordre suivant en commençant par le plus anormal : N° 87, N° 12, N° 38 ; l'examen au Farnsworth nous donnerait : N° 12, N° 87, N° 38 ; les examens à l'anomaloscope et au monochromateur nous montrent des sujets ayant des courbes avec des traits communs mais nullement identiques. (Fig. 251 et 252)

D. - EXAMEN DE DEUX SUJETS TRITANOPES

Nous avons pu trouver quelques cas de sujets tritanopes et nous avons constaté qu'il y a une homogénéité beaucoup plus grande que dans le cas des deutéranopes. Nous examinons donc seulement les résultats obtenus pour deux sujets.

Examen du sujet N° 22 (M. R. F...)

Les tests de Polack et ceux d'Ishihara ne font pas mention du tritanope. Le sujet a éprouvé de la difficulté à lire les planches 12 et 13, 32 et 33 des tests d'Ishihara. Aux tests de Polack, il ne lit pas les planches 27, 28, 29, 30 et 31 qui représentent des chiffres bleus sur fond violet parsemés de points jaunes. Nous avons pensé, lors de nos dépistages préliminaires, qu'une impossibilité de lecture pour ces planches, et celles-là seulement, pourrait bien caractériser un sujet tritanope. Nous en avons eu confirmation par les tests H. R. R. qui reconnaissent l'existence du tritanope et même celle du tétartanope. Le test de Farnsworth montre des écarts peu importants avec la normale, l'écart le plus important étant de 7 pour 493 $m\mu$. Les erreurs sont presque uniquement localisées entre 495 et 445 $m\mu$ ainsi que dans les pourpres violacés ; on note deux petites erreurs à 575 et 560 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent que le sujet est hypersensible dans tout le spectre et hyposensible à partir de 480 $m\mu$. On observe cinq maxima de sensibilité pour 590, 550, 530, 490 et 450 $m\mu$; celui de 530 $m\mu$ est de beaucoup le plus important, celui de 450 $m\mu$ est peu marqué et inférieur à la normale. La surface de vision est supérieure à la moyenne normale et donne 138 %. (Fig. 29)

La courbe comparative confirme l'hypersensibilité du sujet dans le rouge, le jaune et le vert, et l'hyposensibilité à partir de 480 $m\mu$, les valeurs obtenues dépassant 2,50 pour 420 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 43 cm. (Fig. 119)

La courbe logarithmique montre la brusque variation pour le point 6 (couple 580 et 484 $m\mu$), le point 1 étant dans la zone Dalton, et les 4 points suivants dans la zone ombrée. A partir du point 6, tous les points suivants sont à gauche de la normale et en dehors de la zone ombrée ; la longueur de la courbe est de 24 cm. (Fig. 173)

La représentation circulaire donne pour les deux zones Z_1 et Z_2 des valeurs supérieures à la normale, mais plus accentuées pour Z_1 , ce qui fournit un rapport supérieur à l'unité et rapproche le tritanope du deutéranope. On a pour l'oeil droit : $Z_1 = 106 \%$, et pour $Z_2 = 101 \%$, d'où un rapport de 1,05. (Fig. 281)

La représentation angulaire ne fait pas apparaître de variations aussi importantes que dans les cas précédents. Les valeurs extrêmes sont de 0,74 à 540 $m\mu$ et de 1,23 à 465 $m\mu$; la longueur de la courbe n'est que de 16 cm, ce qui est normal puisqu'il y a peu de variations. (Fig. 227)

Examen au monochromateur

L'examen des courbes de sensibilité liminaire montre une différence très nette entre les deux yeux, le gauche étant beaucoup plus sensible que le droit, et, comme nous l'avons régulièrement observé, c'est l'oeil droit que le sujet utilise pour les instruments d'optique monoculaire. On observe pour l'oeil droit deux maxima de sensibilité : un très marqué à 510 $m\mu$, un autre plus discret à 580 $m\mu$, l'oeil est hyposensible à partir de 480 $m\mu$ et on note un point d'hyposensibilité à 550 $m\mu$; la surface de vision est presque identique à la normale : 101 %. Pour l'oeil gauche, un maximum très marqué à 550 $m\mu$, un autre plus discret à 640 $m\mu$ et un autre très faible à 440 $m\mu$, l'oeil étant hyposensible à partir de 510 $m\mu$. La surface de vision est de 118 % par rapport à la normale. (Fig. 55 et 56)

Les courbes tirées du calcul statistique sont presque symétriques autour de 500 $m\mu$. Les deux yeux ont une hypersensibilité qui dépasse 2,50 dans le rouge, et une hyposensibilité qui dépasse 2,50, elle aussi, dans le bleu et le violet. Les courbes sortent du graphique aux deux extrémités du spectre mais en sens contraire. (Fig. 91 et 92)

Les courbes comparatives ont sensiblement le même aspect mais ne dépassent 2,50 que pour l'oeil gauche aux deux extrémités du spectre ; pour l'oeil droit la valeur 2,50 n'est dépassée que dans le violet. Les longueurs respectives des courbes sont de 38 cm pour l'oeil droit et de 32 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 145 et 146)

Les courbes logarithmiques sont beaucoup plus écartées de la normale que celle de l'anomaloscope. Celle de l'oeil droit est entièrement à gauche de la bissectrice et en dehors de la zone ombrée à partir du point 5, le point 2 se trouvant en zone Dalton, sa longueur est de 26 cm. A part les deux premiers moindres en zone ombrée, la courbe de l'oeil gauche est entièrement à gauche de la normale et très écartée de celle-ci, sa longueur est de 23 cm. (Fig. 199 et 200).

Les représentations circulaires donnent un rapport plus élevé que la moyenne des deutéranopes ; en effet, le décalage entre l'hypersensibilité dans le jaune et le rouge, et l'hyposensibilité dans le bleu et le violet crée un déséquilibre marqué

On a pour l'œil droit $Z_1 = 118 \%$, $Z_2 = 93 \%$, d'où un rapport égal à 1,26, et pour l'œil gauche $Z_1 = 123 \%$ et $Z_2 = 85 \%$, soit un rapport de 1,44. (Fig. 307 et 308)

Les représentations angulaires font apparaître des variations plus importantes qu'avec l'anomaloscope ; les valeurs extrêmes sont : pour l'œil droit 0,90 à 675 $m\mu$ et 1,61 à 410 $m\mu$, pour l'œil gauche 0,78 à 550 $m\mu$ et 1,67 à 415 $m\mu$. Les longueurs des courbes sont respectivement de 18 cm pour l'œil droit et de 20 cm pour l'œil gauche. (Fig. 253 et 254)

Examen du sujet N° 101. (Mme A. F...)

L'examen du sujet aux tests de Polack et d'Ishihara donne les mêmes résultats que ceux mentionnés pour le sujet précédent. Les tests H. R. R. indiquent un sujet un peu moins atteint que le précédent.

Le test de Farnsworth indique des écarts plus importants, en particulier aux extrémités des pourpres, mais on retrouve des erreurs entre 495 et 490 $m\mu$ ainsi qu'à 470 $m\mu$ (écart 11) et à 445 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent que le sujet est, en général, hypersensible, ce phénomène étant plus marqué dans le vert et dans le bleu-vert. Il y a une légère hyposensibilité à 580 $m\mu$ et une hyposensibilité constante à partir de 480 $m\mu$. Il y a trois maxima de sensibilité très nets, situés à 590, 530 et 490 $m\mu$ et un très discret à 550 $m\mu$. La surface de vision est supérieure à la normale (114 %) - (Fig. 30)

La courbe comparative met en évidence les zones d'hypersensibilité et d'hyposensibilité, mais les valeurs obtenues ne dépassent jamais 2,50, la longueur de la courbe est de 45 cm. (Fig. 120)

La courbe logarithmique présente la particularité d'avoir deux points (1 et 5) dans la zone Dalton, et ce n'est qu'à partir du point 7 que la courbe se trouve à gauche de la normale en dehors de la zone ombrée ; la longueur de la courbe est de 24 cm. (Fig. 174)

La représentation circulaire n'est pas très différente de la normale : on obtient pour Z_1 105 % et pour Z_2 97 %, soit un rapport de 1,08. (Fig. 282)

La représentation angulaire montre des variations peu importantes autour de la normale, les valeurs extrêmes étant de 0,69 pour 530 m et de 1,17 pour 465 m μ , la longueur de la courbe est de 17 cm. (Fig. 228)

Examen au monochromateur

L'examen des courbes de sensibilité liminaire fait apparaître immédiatement l'extrême hypersensibilité du sujet jusqu'à 450 m μ . Par comparaison avec la surface de vision de la moyenne des sujets normaux, nous obtenons 1600 % pour l'oeil droit et 520 % pour l'oeil gauche. L'oeil droit présente trois maxima de sensibilité très marqués à 340, 550 et 490 m μ . L'oeil gauche présente un maximum très accusé à 530 m μ et deux maxima très discrets à 640 et 490 m μ . Nous trouvons donc presque les mêmes zones de maxima de sensibilité pour les deux yeux mais avec des valeurs très différentes. (Fig. 57 et 58)

Les courbes tirées du calcul statistique sont presque semblables pour les deux yeux. Il y a hypersensibilité depuis 700 m jusqu'à 450 m μ , et la courbe sort du graphique pour 420 m μ . (Fig. 93 et 94)

Les courbes comparatives sont toutes les deux très en dessous de la normale (hypersensibilité) jusqu'à 450 m μ où elles passent brusquement au-dessus ; la longueur des courbes est de 33 cm pour l'oeil droit et de 34 cm pour l'oeil gauche ; elles sont donc assez courtes, ce qui s'explique facilement, les courbes du sujet étant assez régulières. (Fig. 147 et 148)

Les courbes logarithmiques sont toutes deux situées à gauche de la bissectrice, et en dehors de la zone ombrée à partir du huitième point pour l'oeil droit et du septième point pour l'oeil gauche. La longueur des courbes est de 29 cm pour l'oeil droit et de 25 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 201 et 202).

Les représentations circulaires font ressortir l'extraordinaire hypersensibilité du sujet qui est moins gêné par son manque de sensibilité dans le bleu et le violet que par sa trop grande sensibilité dans le reste du spectre. On trouve pour l'oeil droit 169 % pour Z_1 et 112 % pour Z_2 , soit un rapport de 1,50, et pour l'oeil gauche : 140 % pour Z_1 et 104 % pour Z_2 , soit un rapport de 1,34. (Fig. 309 et 310)

Les représentations angulaires indiquent de grandes variations mais surtout à l'intérieur de la zone délimitée par la normale. Nous trouvons comme valeurs extrêmes, pour l'oeil droit : 0,20 à 580 m μ et 1,09 à 440 m μ , et pour l'oeil gauche : 0,46 à 530 m μ et 1,57 à 405 m μ . Les longueurs des courbes sont de 21 cm pour l'oeil droit, et de 18 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 255 et 256).

E. - EXAMEN D'UN SUJET TETARTANOPE (N° 86 - M. M. G ...)

Nous avons eu la possibilité de trouver un sujet "aveugle au jaune". Nous avons plusieurs fois soupçonné l'existence de cette anomalie mais sans pouvoir la mettre en évidence. Ce sujet lit à peu près normalement les tests de Polack et d'Ishihara. Les tests H. R. R. qui admettent cette anomalie sont lus conformément à ce type.

L'examen au test de Farnsworth ferait classer le sujet dans les normaux, car il y a commis peu d'erreurs. Il est significatif de noter que ces erreurs, qui ne dépassent pas la valeur 5, se trouvent situées entre 575 et 570 $m\mu$. On note deux petites erreurs à 470 $m\mu$ et 630 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent un sujet généralement hypersensible avec trois zones d'hyposensibilité vers 650, 570 et 500 $m\mu$, surtout marquée pour 570 $m\mu$. On relève aussi un manque de sensibilité relative vers 470 $m\mu$. Les courbes présentent quatre maxima de sensibilité pour 600, 530, 490 et 460 $m\mu$. La surface de vision est supérieure à la moyenne normale (155 %). (Fig. 31)

La courbe comparative oscille de part et d'autre de la normale mais n'atteint 2,50 qu'aux extrémités et en indiquant une grande hypersensibilité. La longueur de la courbe est de 56 cm. (Fig. 121)

La courbe logarithmique se trouve entièrement à droite de la normale, les points 1, 2, 5 à 8, 13 et 14 étant dans la zone Dalton, ce qui signifie une hyposensibilité entre 545 et 590 $m\mu$, compensée en partie - points 3 et 4 - par l'hyposensibilité à 500 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 28 cm. (Fig. 175)

La représentation circulaire indique un léger manque de sensibilité pour Z_1 (97 %) et une augmentation de la sensibilité pour Z_2 (120 %), ce qui donne un rapport de 0,80, voisin de celui des protanopes. (Fig. 283)

La représentation angulaire fait apparaître des oscillations assez prononcées autour de la normale mais révélant généralement une hypersensibilité. Les valeurs extrêmes sont 0,73 pour 530 $m\mu$ et 1,12 pour 580 $m\mu$; la longueur de la courbe est de 16 cm. (Fig. 229)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire sont très voisines l'une de l'autre. Elles montrent une hypersensibilité très grande dans tout le spectre, à l'exception

d'une zone étroite vers 580 m μ . L'oeil droit présente quatre maxima de sensibilité : deux très marqués pour 550 et 475 m μ , deux autres plus discrets pour 610 et 420 m μ . L'oeil gauche présente cinq maxima qui sont situés respectivement à 610, 530, 490, 460 et 430 m μ , les deux extrêmes étant peu marqués. La surface de vision est très largement supérieure à la normale. On obtient 700 % pour l'oeil droit et 386 % pour l'oeil gauche. (Fig. 59 et 60).

Les courbes tirées du calcul statistique indiquent une hypersensibilité dans tout le spectre, particulièrement marquée dans l'extrême rouge et le violet, la valeur 2,50 étant dépassée pour 410 m μ . (Fig. 95 et 96)

Les courbes comparatives se trouvent entièrement situées en dessous de la normale (hypersensibilité), à l'exception du point correspondant à 580 m μ . Les longueurs des courbes sont de 36 cm pour l'oeil droit et de 35 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 149 et 150)

Les courbes logarithmiques sont entièrement situées dans la zone ombrée et très proches de la normale, à part les points 1 (530 m μ), 4 et 5 (565 et 575 m μ couplés avec 490 et 475 m μ) qui sont en zone Dalton. La longueur des courbes est très réduite : 21 cm pour l'oeil droit et 20 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 203 et 204)

Les représentations circulaires confirment l'hypersensibilité du sujet, plus marquée pour les courtes longueurs d'onde. Nous trouvons pour l'oeil droit : $Z_1 = 116,5 \%$ et $Z_2 = 144,8 \%$, soit un rapport de 0,83, et pour l'oeil gauche : 122 % pour Z_1 et 125,5 % pour Z_2 , soit un rapport de 0,97. Les deux rapports sont donc inférieurs à l'unité, comme dans le cas des protanopes. (Fig. 311 et 312)

Les représentations angulaires indiquent de grandes variations, se situant uniquement à l'intérieur de la courbe délimitant la moyenne normale. On trouve comme valeurs extrêmes, pour l'oeil droit, 0,20 à 475 m μ et 1,00 à 580 m μ , et pour l'oeil gauche : 0,45 à 460 m μ et 1,02 à 580 m μ ; les longueurs des courbes sont respectivement de 20 cm pour l'oeil droit et de 16 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 257 et 258)

F. - EXAMEN DE DEUX SUJETS ACHROMATOPSIQUES

Les deux sujets que nous allons examiner ont été classés comme achromatopsiques après leur examen aux tests de Polack et d'Ishihara. Ils ne pouvaient pratiquement lire aucune des planches des deux séries de tests. C'est l'un de ces deux sujets (N° 80) qui nous avait donné des résultats incompréhensibles avec l'anomaloscope.

Examen du sujet N° 80 (M. A. de L...)

Ce sujet répond aux tests H. R. R. à la fois comme les protanopes et les deutéranopes. Il y a cependant une légère prédominance pour la deutéranopie (sur 9 réponses déterminant à la fois les protanopes et les deutéranopes, le sujet examiné a donné 6 réponses de protanope et 9 réponses de deutéranope).

L'examen au test de Farnsworth montre des erreurs très importantes dans deux zones situées entre 600 et 570 $m\mu$ et 480 et 440 $m\mu$. Or, ce sont justement ces zones qui correspondent à la moins mauvaise sensibilité du sujet.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent une sensibilité assez réduite dans tout le spectre, à l'exception de 590 $m\mu$ et 470 $m\mu$. On observe au total 4 maxima de sensibilité qui sont à 590 et 470 $m\mu$, valeurs déjà citées et à 550 et 530 $m\mu$; cependant, ces deux derniers maxima restent nettement inférieurs à la moyenne normale. La surface de vision, très réduite, est seulement de 51 % par rapport à la normale. (Fig. 32)

La courbe comparative est presque toujours au-dessus de la normale (à part l'extrême rouge, le jaune et le bleu) avec des valeurs souvent supérieures à 2,50. La courbe est très longue, à cause des grandes variations de sensibilité tout le long du spectre (67 cm) - (Fig. 122)

La courbe logarithmique est très irrégulière. Le point 1 est en zone Nagel, ainsi que les points 8, 14 et 15, alors que le point 10 est en zone Dalton. La courbe a une longueur de 30 cm. (Fig. 176)

La représentation circulaire montre que le sujet est hyposensible pour les deux régions du spectre. En effet, Z_1 et Z_2 sont tous deux inférieurs à l'unité (87 % et 85 %) mais le rapport est de 1,02. Le sujet ne rentre donc ni dans la catégorie protanope, ni dans la catégorie deutéranope. (Fig. 284)

La représentation angulaire est presque toujours en dessous de la normale ; les variations sont assez importantes, allant de 0,95 pour 590 $m\mu$ à 1,48 pour 540 $m\mu$ et 1,47 pour 500 $m\mu$. La courbe, très allongée, mesure 23 cm. (Fig. 230)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une hyposensibilité encore plus marquée que pour l'anomaloscope. On observe pour l'oeil droit 4 maxima de sensibilité qui se trouvent situés à 580, 490, 450 et 415 $m\mu$, c'est-à-dire

uniquement dans le jaune, le bleu et le violet ; seuls les deux maxima de 490 et 450 $m\mu$ sont supérieurs à la normale. La surface de vision est très réduite, n'étant seulement que de 56 % par rapport à la normale. Pour l'oeil gauche, on n'observe que deux maxima, l'un à 580 $m\mu$ et l'autre à 460 $m\mu$, le premier étant très nettement inférieur à la normale. La surface de vision est encore plus réduite (23 %) (Fig. 61 et 62)

Les courbes tirées du calcul statistique donnent, pour les deux yeux, de nombreux points en dehors du graphique, en particulier dans le rouge et le vert. (Fig. 97 et 98)

Les courbes comparatives sont presque toujours très au-dessous de la normale, mettant en évidence le manque de sensibilité du sujet. Leurs longueurs respectives sont de 49 cm pour l'oeil droit et de 43 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 151 et 152).

Les courbes logarithmiques montrent pour l'oeil droit un sujet de type Dalton, et pour l'oeil gauche un cas difficile à interpréter. Pour l'oeil droit, les points 4, 7, 8, 9, 10, 13, 14 sont à droite de la normale et en dehors de la zone ombrée ; les points 1 et 15 sont en zone Nagel. Pour l'oeil gauche, seuls les points 6 et 13 sont en zone Dalton, alors que les points 1, 14 et 15 sont en zone Nagel. Les courbes sont très allongées : 37 cm pour l'oeil droit, 32 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 205 et 206)

Les représentations circulaires indiquent une tendance au type protanope. Nous trouvons pour l'oeil droit : $Z_1 = 71 \%$, $Z_2 = 93 \%$, d'où un rapport de 0,77 ; et pour l'oeil gauche : $Z_1 = 67 \%$, $Z_2 = 83 \%$, ce qui donne un rapport de 0,81. (Fig. 313 et 314).

Les représentations angulaires indiquent une hyposensibilité très importante dans tout le spectre, à l'exception du jaune et du bleu. On observe comme valeurs extrêmes, pour l'oeil droit : 0,92 à 450 $m\mu$ et 1,58 à 675 $m\mu$, et pour l'oeil gauche : 0,97 à 460 $m\mu$ ainsi que 1,58 à 675 $m\mu$ et 1,60 à 410 $m\mu$. Les longueurs des courbes sont de 21 cm pour l'oeil droit et de 24 cm pour l'oeil gauche (Fig. 250 et 260).

Examen du N° 102 (M. J. F...)

Le sujet examiné aux tests H. R. R. ne voit pratiquement que les planches utilisées pour la détection des tritanopes et des tétartanopes. Il ne voit donc que le bleu et le jaune.

L'examen au test de Farnsworth montre, comme dans le cas du sujet précédent, des écarts très importants dans le jaune et le bleu ; on obtient les valeurs

16 pour 572 $m\mu$, et la valeur 15 pour 477 $m\mu$, alors qu'il n'y a presque pas d'entre 570 et 505 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent, comme dans le cas précédent, un sujet hyposensible dans tout le spectre, à l'exception du jaune et d'un certain bleu. On observe 5 maxima de sensibilité : deux très importants à 590 et 460 $m\mu$, les trois autres, plus réduits, à 550, 530 et 490 $m\mu$. La surface de vision est inférieure à la normale (69 %) - (Fig. 33)

La courbe comparative est presque toujours au-dessus de la normale, mais de façon plus discrète que dans le cas précédent. La courbe est très allongée (58 cm) - (Fig. 123)

La courbe logarithmique n'est pas très éloignée de la normale. Seuls les points 1, 8, 14 et 15 sont en zone Nagel. La courbe revient brusquement sur elle-même, du point 8 (hyposensibilité à 473 $m\mu$) au point 9 (hypersensibilité à 465 $m\mu$). La longueur de la courbe est de 32 cm. (Fig. 177)

La représentation circulaire montre que le sujet est hyposensible dans les deux portions du spectre. On obtient pour Z_1 : 95 % et pour Z_2 : 86 %, soit un rapport de 1,10. Le sujet tend plutôt vers le type deutéranope. (Fig. 285)

La représentation angulaire a des variations assez importantes, qui vont de 0,95 à 590 $m\mu$ et 0,87 à 465 $m\mu$, à 1,45 à 500 $m\mu$. La longueur de la courbe est de 20 cm. (Fig. 231)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une différence assez marquée entre les deux yeux, l'oeil gauche étant très sensible mais d'une façon particulièrement sélective. L'oeil droit est nettement hyposensible, à l'exception d'un maximum de sensibilité très marqué à 470 $m\mu$, un autre maximum inférieur à la normale existe à 530 $m\mu$; la surface de vision pour cet oeil est inférieure à la normale (72 %), au contraire, l'oeil gauche a une surface de vision nettement supérieure à la normale (980 %), mais cette valeur provient d'une sensibilité extraordinaire entre 490 et 450 $m\mu$. On observe deux autres maxima de sensibilité plus discrets, bien que supérieurs à la normale, à 580 et 530 $m\mu$. (Fig. 63 et 64)

L'examen des courbes tirées du calcul statistique confirme la différence de sensibilité des deux yeux. Cependant, de nombreux points des deux courbes se trouvent en dehors du graphique. (Fig. 99 et 100)

Les courbes comparatives atteignent des valeurs élevées de part et d'autre de la normale. Les courbes sont très allongées, surtout celle de l'oeil gauche (48 cm et 61 cm). - (Fig. 153 et 154)

Les courbes logarithmiques sont difficiles à interpréter. On observe dans le cas de l'oeil droit, que les points 1, 12, 13, 14 et 15 sont en zone Nagel, alors que les points 5, 6 et 7 sont en zone Dalton ; dans le cas de l'oeil gauche, seuls les points 13, 14 et 15 sont en zone Nagel, alors que les points 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 sont en zone Dalton. Les longueurs des courbes sont de 32 cm pour l'oeil droit et de 35 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 207 et 208)

Les représentations circulaires donnent des résultats ressemblant à ceux des protanopes. On a, pour l'oeil droit, $Z_1 = 73 \%$ et $Z_2 = 75 \%$, soit un rapport de 0,97, voisin de l'unité, et, pour l'oeil gauche, $Z_1 = 91 \%$ et $Z_2 = 118 \%$, soit un rapport de 0,77. (Fig. 315 et 316)

Les représentations angulaires montrent des variations extrêmement importantes. On a comme valeurs extrêmes, pour l'oeil droit, 0,71 à 460 $m\mu$ et 1,90 à 440 $m\mu$, ainsi que 1,39 à 550 $m\mu$; pour l'oeil gauche : 0,31 à 450 $m\mu$ et 1,70 à 420 $m\mu$, ainsi que 1,42 à 550 $m\mu$. Les longueurs des courbes sont respectivement de 26 cm pour l'oeil droit et 32 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 261 et 262)

G. - EXAMEN DE DEUX SUJETS ANORMAUX INDETERMINES

Le cas de ces deux sujets est assez spécial et démontre bien l'insuffisance des tests pseudo-isochromatiques. En effet, les deux sujets donnent pour les tests de Polack et ceux d'Ishihara, tantôt des réponses correspondant au type Dalton, tantôt des réponses correspondant au type Nagel.

Examen du sujet N° 91 (M. L. D...)

L'examen aux tests H. R. R. donne une prédominance au type protanope (7 réponses comme type protanope contre 2 comme type deutéranope).

L'examen au test de Farnsworth donne des écarts assez peu importants avec la normale, ces écarts étant situés surtout dans le rouge orangé (6 à 610 $m\mu$ dans le bleu (7 à 480 $m\mu$ et 6 à 465 $m\mu$), ainsi qu'aux extrémités du pourpre.

Examen à l'anomaloscope

Contrairement aux achromatopsiques, l'examen des courbes de sensibilité

liminaire indique une hypersensibilité dans de nombreuses régions du spectre, mais cette hypersensibilité est presque immédiatement suivie par une hyposensibilité. On note ainsi 4 maxima de sensibilité très marqués pour 590, 530, 490 et 460 $m\mu$; un autre maximum, très discret s'observe à 550 $m\mu$. La surface de vision correspond à 150 % de la normale. (Fig. 34)

La courbe comparative indique une hypersensibilité dans le jaune, une certaine partie du vert, le bleu et le violet. L'hyposensibilité est très forte dans le rouge au-delà de 610 $m\mu$, ainsi que pour 540 et 500 $m\mu$ dans le vert. La longueur de courbe est de 55 cm. (Fig. 124)

La courbe logarithmique est assez irrégulière. Les points 3 et 4 sont en zone Nagel, les points 1 et de 10 à 15 sont en zone Dalton. La longueur de la courbe est de 28 cm. (Fig. 178)

La représentation circulaire correspond plutôt au type Dalton. On a pour $Z_1 = 96,5 \%$ et pour $Z_2 = 108 \%$; le rapport est donc de 0,89. (Fig. 286)

La représentation angulaire montre des variations de peu d'amplitude autour de la normale. Les valeurs extrêmes sont de 0,79 à 590 $m\mu$ et 0,80 à 465 $m\mu$ contre 1,20 à 500 $m\mu$. La longueur de la courbe est de 18 cm. (Fig. 232)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire montrent que l'oeil gauche est beaucoup plus sensible que l'oeil droit. On observe pour ce dernier deux maxima de sensibilité très importants pour 510 et 460 $m\mu$, et un autre, très discret, à 580 $m\mu$. La surface de vision est très étendue par rapport à la vision normale : 445 %. L'oeil gauche présente trois maxima de sensibilité très marqués pour 610, 530 et 460 $m\mu$, ce dernier étant de beaucoup le plus important. La surface de vision est extraordinairement élevée (1050 %) - (Fig. 65 et 66)

Les courbes tirées du calcul statistique ne sont éloignées de la normale qu'aux extrémités du spectre, en particulier dans le cas de l'oeil gauche. (Fig. 101 et 102).

Les courbes comparatives indiquent une grande hypersensibilité entre 610 et 440 $m\mu$ pour l'oeil droit, et 640 et 450 $m\mu$ pour l'oeil gauche, avec hyposensibilité aux extrémités du spectre. Les longueurs des courbes sont respectivement de 44 cm pour l'oeil droit, et de 58 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 155 et 156)

Les courbes logarithmiques, pas très éloignées de la normale, contrairement aux résultats obtenus avec l'anomaloscope, indiquent plutôt un type Nagel relativement discret. Pour l'oeil droit, il n'y a qu'à trois points : 9, 14 et 15,

en dehors de la zone ombrée et à gauche de la normale. Pour l'oeil gauche, le point 1 est en zone Dalton, les points 8, 9, 12, 14 et 15 sont en zone Nagel. Les courbes ont une longueur de 29 cm pour l'oeil droit, et de 36 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 209 et 210)

Les représentations circulaires font ressortir la différence entre les deux yeux. L'oeil droit donne les caractéristiques du protanope :

$$Z_1 = 94 \% \quad Z_2 = 119 \%, \quad \text{rapport} : 0,79$$

alors que l'oeil gauche correspond à un deutéranope :

$$Z_1 = 139 \% \quad Z_2 = 118 \%, \quad \text{rapport} : 1,18 \text{ (Fig. 317 \& 318).}$$

Les représentations angulaires présentent de grandes variations autour de la normale. Pour l'oeil droit, les valeurs extrêmes sont de 0,38 à 510 m μ et de 0,37 à 460 m μ , avec 1,08 à 640 m μ et 1,60 à 410 m μ . Pour l'oeil gauche on trouve : 0,34 à 640 m μ et 0,22 à 460 m μ , avec 1,17 à 675 m μ et 1,60 à 410 m μ . Les courbes sont très allongées : 27 cm pour l'oeil droit, 30 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 263 et 264)

Examen du sujet N° 103 (M. B. Du...)

Ce sujet serait plutôt type Nagel aux tests de Polack et type Dalton aux tests de Ishihara. Il est presque normal aux tests H. R. R. avec tendance à la deutéranopie. Le test de Farnsworth ferait conclure à un sujet normal (quelques erreurs très limitées vers 630 m μ et 570 m μ , ne dépassant jamais la valeur 3).

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire font ressortir, comme dans le cas précédent, plusieurs zones d'hypersensibilité. On observe 4 maxima de sensibilité situés à 590, 530, 480 et 460 m μ . La surface de vision est légèrement supérieure à la normale (122 %) - (Fig. 35)

La courbe comparative oscille de part et d'autre de la normale et dépasse 2,50 dans le rouge (hyposensibilité). La courbe est très allongée (59 cm) - (Fig. 125)

La courbe logarithmique correspond plutôt au type Dalton, les points 7 et 8 étant en zone Nagel, et les points 1, 2, 10, 11, 12, 14 et 15 en zone Dalton. On note un brusque changement de direction du point 4 au point 5, une hypersensibilité à 490 m μ , succédant à une hyposensibilité à 500 m μ . La longueur de la courbe est de 32 cm. (Fig. 179)

La représentation circulaire donne un rapport voisin de l'unité. On a : $Z_1 = 96 \%$, $Z_2 = 102 \%$, d'où un rapport de 0,94. (Fig. 287)

La représentation angulaire montre des variations assez faibles autour de la normale. Les valeurs extrêmes sont de 0,77 pour 590 $m\mu$ et 1,15 pour 500 $m\mu$. La longueur de la courbe est de 17 cm. (Fig. 233)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une grande différence entre les deux yeux. L'oeil droit présente 3 maxima de sensibilité : deux très marqués à 580 et 510 $m\mu$ et un plus discret à 430 $m\mu$. La surface de vision est très largement supérieure à la normale (240 %). L'oeil gauche a 5 maxima de sensibilité : 3 très marqués à 550, 510 et 420 $m\mu$, 2 plus faibles à 610 et 440 $m\mu$. La surface de vision ne représente que 60 % de la normale. (Fig. 67 et 68)

Les courbes tirées du calcul statistique montrent des variations importantes de part et d'autre de la normale, ces variations étant beaucoup plus importantes pour l'oeil gauche où la courbe pratiquement est toujours au-dessus de la normale (hyposensibilité) (Fig. 103 & 104).

Les courbes comparatives confirment l'hyposensibilité de l'oeil gauche dans presque tout le spectre, alors que l'oeil droit est hypersensible entre 600 et 490 $m\mu$. La longueur des courbes est identique pour les deux yeux (42 cm) - (Fig. 157 et 158)

Les courbes logarithmiques s'écartent peu de la normale. On note, pour l'oeil droit, le point 5 en zone Nagel et les points 6, 14 et 15 en zone Dalton ; pour l'oeil gauche, les points 1, 3, 4, 14 et 15 sont en zone Nagel et les points 12 et 13 en zone Dalton. L'oeil droit a plutôt des caractéristiques de protanope et l'oeil gauche de deutéranope. Les courbes ont une longueur de 28 cm pour l'oeil droit et de 32 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 211 et 212)

Les représentations circulaires sont assez différentes pour les deux yeux. On a, pour l'oeil droit, $Z_1 = 93 \%$ et $Z_2 = 106 \%$, soit un rapport de 0,87 (analogie avec le type protanope), et pour l'oeil gauche : $Z_1 = 92 \%$ et $Z_2 = 87 \%$, soit un rapport de 1,06 (analogie avec le type deutéranope). (Fig. 319 et 320)

Les représentations angulaires montrent des variations assez importantes, On note, pour l'oeil droit : 0,26 à 510 $m\mu$ et 1,20 à 640 $m\mu$, et, pour l'oeil gauche : 0,97 à 550 $m\mu$ et 1,60 à 410 $m\mu$. Les deux courbes sont presque la même longueur : 23 cm pour l'oeil droit et 22 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 265 et 266)

H. - EXAMEN DE TROIS SUJETS DE TYPE BALFOUR

Adoptant la classification usuelle et d'après les planches mal lues aux tests nous classerons ces trois sujets en protanomal, deutéranomal et tritanomal. En réalité, il semble bien difficile de pouvoir classer en catégorie les sujets "anomaux".

Examen du sujet N° 15 (Mme C. L...) : protanomal.

Ce sujet lit les dernières planches des tests de Polack à la fois comme les sujets normaux et les sujets anormaux. En outre, il a de la difficulté à lire certaines planches qui ne sont normalement pas lues par les sujets protanopes. Les mêmes résultats sont obtenus avec les tests de Ishihara. Les tests H. R. R. indiquent un sujet presque normal (5 planches sur 6 lues normalement, une comme le aveugles rouge-vert, et une comme les protanopes légers).

L'examen au test de Farnsworth montre de nombreuses erreurs mais peu importantes (maximum 9 à 585 m μ) ; ces erreurs se situent principalement dans toute la zone des pourpres, entre 630 et 575 m μ et 495 et 475 m μ .

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une vision légèrement inférieure à la normale (82 %). Il y a 5 maxima de sensibilité, 3 assez importants sont situés à 590, 530 et 490 m μ , deux autres plus faibles à 550 et 465 m μ . (Fig. 125)

La courbe comparative montre trois zones d'hypersensibilité correspondant à 590, 530 et 490 m μ , le sujet étant hyposensible dans le reste du spectre. La courbe a une longueur de 56 cm. (Fig. 126)

La courbe logarithmique s'écarte peu de la normale. Les points 1 et 5 sont en zone Dalton, alors que les points 8, 14 et 15 sont en zone Nagel. La longueur de la courbe est de 31 cm. (Fig. 180)

La représentation circulaire est très voisine de la normale. On obtient pour Z_1 : 95 %, et pour Z_2 : 98 %, soit un rapport de 0,97, très peu inférieur à l'unité. (Fig. 238)

La représentation angulaire fait apparaître des variations de faible amplitude autour de la normale, les valeurs extrêmes étant de 0,90 pour 530 m μ et de 1,14 pour 680 m μ . La longueur de la courbe est de 15 cm. (Fig. 234)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire sont très voisines pour les deux yeux, mais font ressortir le manque de sensibilité du sujet dans presque tout le spectre. La surface de vision par rapport à la moyenne des sujets normaux est très faible (25 % pour l'oeil droit, 28 % pour l'oeil gauche). On observe pour l'oeil droit deux maxima de sensibilité très relative d'ailleurs, à 530 et 490 $m\mu$, et pour l'oeil gauche on retrouve les mêmes maxima avec un autre, très faible, à 460 $m\mu$ (Fig. 69 et 70)

Les courbes tirées du calcul statistique sont entièrement situées au-dessus de la normale, et certains points sont situés en dehors du graphique, comme nous l'avions observé chez les protanopes.

Le seul examen de ces courbes et de celles du seuil de sensibilité ferait penser que le sujet examiné est extrêmement gêné pour la vision des couleurs ce qui s'est révélé inexact dans la vie courante. (Fig. 105 et 106)

Les courbes comparatives confirment les précédentes mais sont très courtes, contrairement aux courbes de certains sujets anormaux (28 cm pour l'oeil droit, 29 cm pour l'oeil gauche) - (Fig. 159 et 160)

Les courbes logarithmiques infirment les résultats précédents et montrent que le sujet est seulement "anomal". En effet, pour les deux yeux, seuls les points 1, 14 et 15 sont en dehors de la zone ombrée, ils sont d'ailleurs situés en zone Nagel. Les courbes sont assez courtes (25 cm pour l'oeil droit et 26 cm pour l'oeil gauche) - (Fig. 213 et 214)

Les représentations circulaires font parfaitement ressortir que le sujet est hyposensible mais d'une façon très régulière dans tout le spectre. Nous trouvons pour l'oeil droit : $Z_1 = 77\%$, et $Z_2 = 79\%$, soit un rapport de 0,97, et pour l'oeil gauche : $Z_1 = 81\%$ et $Z_2 = 78\%$, soit un rapport de 1,04. Nous avons pour les deux yeux, un rapport sensiblement égal à l'unité, comme pour un sujet normal. (Fig. 321 et 322)

Les représentations angulaires sont toutes deux à l'extérieur de la normale. Les variations extrêmes sont, pour l'oeil droit, de 1,12 à 490 $m\mu$, à 1,37 à 675 et 510 $m\mu$, et 1,60 à 410 $m\mu$; pour l'oeil gauche, on a 1,10 à 490 $m\mu$ et 1,51 à 675 $m\mu$, ainsi que 1,60 à 410 $m\mu$. Les longueurs des courbes sont respectivement de 17 cm pour l'oeil droit et 21 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 267 et 268)

Examen du sujet N° 78 (Melle M. D. L...) : deutéranomal.

Ce sujet lit difficilement certaines planches des tests de Polack et d'Ishihara qui ne sont normalement pas vues par les deutéranopes. L'examen aux tests H. R. R. montre un sujet légèrement deutéranope.

Le test de Farnsworth pourrait faire penser à un sujet normal ; les erreurs sont peu importantes (maximum 5 pour 480 et 475 $m\mu$) et très localisées (583 à 570 $m\mu$, 562 et 545 $m\mu$, et 483 à 472 $m\mu$, ainsi que la zone des pourpres).

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire montrent une vision très inférieure à la moyenne normale (45 %) et une hyposensibilité dans tout le spectre, sauf à 450 $m\mu$. Il y a 4 maxima de sensibilité : un très léger à 550 $m\mu$ et trois très nets à 590, 530 et 450 $m\mu$. (Fig. N° 37)

La courbe comparative est toujours au-dessus de la normale, sauf à 450 $m\mu$. Sa longueur est de 45 cm. (Fig. 127)

La courbe logarithmique est presque entièrement dans la zone ombrée. On relève les points 1, 8, 14 et 15 en zone Nagel et le point 10 en zone Dalton. La longueur de la courbe est de 28 cm. (Fig. 181)

La représentation circulaire est voisine de la normale. On obtient pour $Z_1 = 96\%$ et pour $Z_2 = 92\%$, ce qui donne un rapport de 1,05, donc légèrement supérieur à l'unité. (Fig. 289)

La représentation angulaire montre des variations moyennement importantes, allant de 0,97 pour 450 $m\mu$ à 1,33 pour 480 $m\mu$ et 1,26 pour 540 $m\mu$. La longueur de la courbe est de 17 cm. (Fig. 235)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une légère différence entre les deux yeux. L'oeil droit a une surface de vision presque identique à la normale (98 %) alors que celle de l'oeil gauche est beaucoup plus réduite (57 %). L'oeil droit présente quatre maxima de sensibilité situés à 580, 490, 460 et 420 $m\mu$, surtout marqués pour 580 et 460 $m\mu$. Il en est de même pour l'oeil gauche, mais les maxima se trouvent à 610, 550, 510, et 460 $m\mu$, ce dernier étant extrêmement important. (Fig. 71 et 72)

Les courbes tirées du calcul statistique sont assez différentes pour les deux yeux : on note pour l'oeil droit une hyposensibilité prononcée dans le rouge et le vert-bleu, alors que pour l'oeil gauche les variations sont assez peu marquées. (Fig. 107 et 108)

Les courbes comparatives indiquent des variations assez importantes, faisant ressortir le manque de sensibilité de l'oeil droit. Les longueurs des courbes sont de 55 cm pour l'oeil droit et de 44 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 161 et 162)

Les courbes logarithmiques sont assez différentes pour les deux yeux. Celle de l'oeil droit n'est pas caractéristique, ayant les points 1, 5, 13, 14, 15 en zone Nagel, et les points 6, 10, 11, 12 en zone Dalton ; sa longueur est de 37 cm. Pour l'oeil gauche, on trouve encore les points 1, 13, 14, 15 en zone Nagel et seulement les points 5 et 6 en zone Dalton ; la longueur de la courbe est de 30 cm. (Fig. 215 et 216)

Les représentations circulaires sont à peu près semblables pour les deux yeux. Pour l'oeil droit $Z_1 = 99\%$ et $Z_2 = 94\%$, soit un rapport de 1,06, et pour l'oeil gauche $Z_1 = 98\%$ et $Z_2 = 93\%$, soit le même rapport de 1,06 (Fig. 323 et 324)

Les représentations angulaires indiquent des variations plus importantes que pour le sujet protanomal. On a, en effet, comme valeurs extrêmes pour l'oeil droit : 0,88 à 420 $m\mu$ et 0,89 à 460 $m\mu$, avec 1,34 à 530 $m\mu$ et 1,65 à 415 $m\mu$. De même pour l'oeil gauche, on obtient 0,84 pour 610 $m\mu$ et 0,71 pour 460 $m\mu$, avec 1,17 à 530 $m\mu$ et 1,65 à 415 $m\mu$. Les courbes sont assez allongées : 23 cm pour l'oeil droit et 20 cm pour l'oeil gauche. (Fig. 269 et 270)

Examen du sujet N° 4 (M. B...) : tritanomal

L'examen aux tests de Polack et d'Ishihara n'est pas significatif. Le sujet éprouve de la difficulté à lire les planches 27 à 31 des tests de Polack (analogie avec le tritanope). Il en est de même pour les planches correspondant à la tritanopie dans les tests H. R. R.

Le test de Farnsworth montre des erreurs situées à peu près uniquement entre 495 et 475 $m\mu$ avec une valeur de 11 pour 488 $m\mu$.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une surface de vision identique à la moyenne des sujets normaux (101 %). Il y a quatre maxima de sensibilité trois nettement marqués à 590, 530 et 450 $m\mu$, un dernier, plus discret, à 480 $m\mu$. (Fig 38)

La courbe comparative se trouve de part et d'autre de la normale avec des oscillations très accentuées à partir de 550 $m\mu$ et augmentant en allant vers les courtes longueurs d'onde. La courbe a une longueur de 73 cm. (Fig. 128)

La courbe logarithmique est située presque entièrement à gauche de la normale mais ne s'écarte jamais beaucoup de la zone ombrée. Sa longueur est de 30 cm. (Fig. 182)

La représentation circulaire pourrait être celle d'un sujet normal. On a $Z_1 = 100 \%$ et $Z_2 = 98 \%$, soit un rapport de 1,02 (Fig. 290)

La représentation angulaire présente des variations assez faibles autour de la normale, qui vont de 0,90 à 590 et 530 $m\mu$ à 1,21 pour 500 $m\mu$. La longueur de la courbe est de 19 cm. (Fig. 236)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire montrent une légère différence entre les deux yeux. L'œil droit a une surface de vision presque identique à la moyenne normale (97 %) et présente quatre maxima de sensibilité : un très peu marqué à 640 $m\mu$, trois autres, plus nets, à 530, 450 et 430 $m\mu$. L'œil gauche est hypersensible (134 % de surface de vision), surtout dans le rouge. Il présente, lui aussi, quatre maxima de sensibilité : deux, très marqués, pour 675 et 530 $m\mu$, deux, plus discrets, à 460 et 430 $m\mu$. (Fig. 73 et 74).

Les courbes tirées du calcul statistique font ressortir une hyposensibilité très marquée pour les deux yeux à 490 $m\mu$, ainsi qu'une hypersensibilité dans le rouge, beaucoup plus marquée pour l'œil gauche (Fig. 109 et 110)

Les courbes comparatives confirment le résultat précédent mais font ressortir la reprise de sensibilité dans le violet. La longueur des courbes est de 40 cm pour l'œil droit et de 44 cm. pour l'œil gauche. (Fig. 163 et 164)

Les courbes logarithmiques se trouvent presque entièrement à gauche de la normale et possèdent toutes deux les points 4 à 8 et 14 et 15 dans la zone Nagel, avec, en outre, le point 9 pour l'œil droit et 13 pour l'œil gauche. La longueur des deux courbes est identique : 30 cm. (Fig. 217 et 218)

Les représentations circulaires sont peu différentes de la normale. On a, pour l'œil droit, $Z_1 = 106 \%$ et $Z_2 = 98 \%$, soit un rapport de 1,03, et pour l'œil gauche : $Z_1 = 109 \%$ et $Z_2 = 100 \%$, soit un rapport de 1,09. (Fig. 325 et 326)

Les représentations angulaires indiquent des variations assez importantes. Les valeurs extrêmes pour l'œil droit sont : 0,22 à 646 μ m et 1,97 à 418 μ m pour l'œil gauche : 0,74 à 675 μ m et 1,19 à 475 μ m avec 1,57 à 418 μ m. Les longueurs des courbes sont de 17 cm pour l'œil droit et de 18 cm pour l'œil gauche. (Fig. 271 et 272)

CHAPITRE V

ETUDE des MOYENNES de RESULTATS

OBTENUES pour les DIFFERENTS GROUPES de SUJETS EXAMINES

Dans le chapitre précédent, nous avons examiné les courbes individuelles d'un certain nombre de sujets normaux et anormaux. Nous nous proposons dans ce nouveau chapitre d'étudier les résultats obtenus en faisant la moyenne des sujets dans chaque catégorie.

Nous considérerons d'abord les courbes obtenues pour les différents groupes de dyschromatopsiques et nous étudierons ensuite la répartition des points d'hypo - et d'hypersensibilité, ainsi que la position et le nombre des maxima de sensibilité tant pour les sujets normaux que pour les anormaux.

I. - ETUDE DES COURBES

A. - MOYENNE des SUJETS PROTANOPEs

L'étude porte sur la moyenne de dix résultats tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire (Fig. 1) indiquent une surface de vision légèrement inférieure à la vision moyenne des sujets normaux (85 %). Il y a une nette hyposensibilité dans le rouge et une hypersensibilité presque constante à partir de 520 m μ jusqu'à 440 m μ . On observe deux maxima de sensibilité à 510 et 490 m μ . Les résultats obtenus sont identiques en adoptant la représentation de la C. I. E. (courbe de sensibilité relative) (Fig. 6). Ils sont nettement différents pour la courbe obtenue en portant en ordonnées l'inverse de $\Delta W / \Delta \lambda$ (courbe différentielle). (Fig. 11)

La courbe comparative est très largement au-dessus de la normale, sauf entre 510 et 440 $m\mu$. Sa longueur est 41 cm. (Fig. 16)

La courbe logarithmique est située entièrement à droite de la normale et en dehors de la zone ombrée, à l'exception du premier point. La longueur de la courbe est 27 cm. (Fig. 21)

La représentation circulaire correspond au postulat que nous avons posé en expliquant ce mode de représentation. Nous obtenons pour Z_1 : 91 % et pour Z_2 : 105 %, soit un rapport de 0,87. (Fig. 26)

La représentation angulaire fait apparaître de faibles oscillations autour de la normale. Les valeurs extrêmes sont : 0,95 pour 450 $m\mu$ et 1,12 pour 650 $m\mu$, ce qui confirme l'hypersensibilité dans le bleu et l'hyposensibilité dans le rouge. La longueur de la courbe est très réduite : 13 cm. (Fig. 31)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une courbe en cloche presque parfaite, avec un maximum de sensibilité supérieur à la moyenne normale et situé à 490 $m\mu$. La surface totale de vision est légèrement inférieure à la moyenne normale (82 %) (Fig. 36).

La courbe de sensibilité relative est très resserrée, étant limitée pratiquement par 530 et 420 $m\mu$. (Fig. 41) La courbe différentielle présente un maximum beaucoup plus élevé que la moyenne normale, et situé à 510 $m\mu$. (Fig. 46)

La courbe tirée du calcul statistique est presque entièrement hors du graphique par hyposensibilité, à l'exception d'une zone comprise entre 550 et 430 $m\mu$ (Fig. 51)

La courbe comparative est identique à celle obtenue à l'anomaloscope, c'est-à-dire très au-dessus de la normale, sauf entre 510 et 440 $m\mu$, où il y a hypersensibilité. La longueur de la courbe est 43 cm. (Fig. 56)

La courbe logarithmique est située entièrement à droite de la normale, à l'exception du premier point. Elle est, pour sa plus grande partie, en dehors de la zone ombrée, les points 10 et 11 s'y trouvant cependant. Ces deux points correspondent aux couples de longueur d'onde : 632 et 430 $m\mu$, 640 et 426 $m\mu$. La courbe a une longueur de 23 cm. (Fig. 61)

La représentation circulaire montre une disproportion beaucoup plus grande entre les deux zones que dans le cas de l'anomaloscope. On obtient pour Z_1 : 65 % et pour Z_2 : 98 %, soit un rapport de 0,68, nettement inférieur à l'unité. (Fig. 65)

La représentation angulaire fait apparaître des variations plus importantes que dans le cas de l'anomaloscope. Les valeurs extrêmes sont : 0,87 pour 430 et 475 $m\mu$, et 1,56 pour 640 $m\mu$. Il faut cependant noter la baisse de sensibilité dans le violet où l'on trouve la valeur 1,44 pour 415 $m\mu$. La longueur de la courbe est 18 cm. (Fig. 71)

En conclusion, l'examen des différents modes de représentation montre une hyposensibilité marquée dans les grandes longueurs d'onde jusque vers 550 $m\mu$ environ, qui devient brutalement hypersensibilité dans la portion suivante du spectre. Il y a ensuite perte de sensibilité dans le violet, à partir de 430 $m\mu$. Le phénomène est beaucoup plus marqué avec le monochromateur qu'avec l'anomaloscope.

La courbe logarithmique sortant notablement des zones de variation physiologique à droite de la bissectrice confirme le déséquilibre rouge-bleu au profit des courtes longueurs d'onde.

B. - MOYENNE DES SUJETS DEUTERANOPES

L'étude porte sur la moyenne de dix résultats, tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une surface de vision nettement inférieure à la vision moyenne des sujets normaux (53 %). Il y a un déficit peu important dans le rouge, mais très marqué dans le vert et le bleu, avec reprise de la sensibilité dans le violet. On observe deux maxima de sensibilité situés à 530 et 550 $m\mu$ (Fig. 2). Ces résultats se retrouvent, mais plus accentués dans le cas de la courbe de sensibilité relative où l'on observe une légère remontée à 490 $m\mu$ (fig. 7). La courbe différentielle est très différente et présente quatre maxima pour 550, 530, 470 et 450 $m\mu$ (Fig. 12)

La courbe comparative est toujours située au-dessus de la normale à partir de 530 $m\mu$ jusqu'à 425 $m\mu$. La longueur de la courbe est 41 cm. (Fig. 17)

La courbe logarithmique est située entièrement à gauche de la normale mais se trouve pour moitié dans la zone ombrée ; cependant, les points 1, 6, 7, 8, 9, 14 et 15 sont en dehors de cette zone. La longueur de la courbe est 25 cm. (Fig. 22)

La représentation circulaire montre une légère diminution de la sensibilité dans les grandes longueurs d'onde, $Z_1 = 96 \%$, cette diminution étant beaucoup plus marquée dans les courtes longueurs d'onde, $Z_2 = 87 \%$ ce qui donne un rapport de 1,11 (Fig. 27)

La représentation angulaire met bien en évidence l'hyposensibilité à partir de 580 m μ . Les valeurs extrêmes sont : 0,96 à 590 m μ et 1,31 à 500 et 480 m μ . La courbe a une longueur de 15 cm. (Fig. 32)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une vision diminuée par rapport à la normale (50 %). Elles donnent, comme pour la moyenne des sujets presbytes, une courbe en cloche ; cependant, cette courbe est moins nette que dans le cas précédent. On observe, en effet, deux maxima de sensibilité : un, très net, à 550 m μ , et un autre, très discret, à 480 m μ . (Fig. 37). Il en est de même pour la courbe de sensibilité relative. (Fig. 42)

La courbe différentielle a, elle aussi, deux maxima : un, très net, à 470 m μ et un, très étalé, vers 580 m μ . (Fig. 47)

La courbe tirée du calcul statistique montre une hyposensibilité constante mais plus ou moins marquée, entre 675 et 420 m μ où la courbe sort du graphique (Fig. 52)

La courbe comparative est toujours au-dessus de la normale, indiquant une hyposensibilité dans tout le spectre, de 675 à 425 m μ . La courbe a une longueur de 28 cm, elle est donc très courte. (Fig. 57)

La courbe logarithmique est entièrement située à gauche de la normale mais ne sort de la zone ombrée que pour les points extrêmes (1, 2, 13, 14 et 15). Elle a pour longueur : 28 cm. (Fig. 62)

La représentation circulaire indique une diminution de sensibilité plus marquée dans les courtes longueurs d'onde. On a : $I_1 = 95\%$ - $I_2 = 68\%$, ce qui donne un rapport de 1,08, légèrement supérieur à l'unité. (Fig. 67)

La représentation angulaire fait apparaître des variations plus marquées qu'avec l'anomalouscope. Les valeurs extrêmes sont : 1,08 à 610 m μ et 1,23 à 510 m μ , ainsi que 1,57 à 415 m μ . La courbe a une longueur de 17 cm. (Fig. 72)

En conclusion, l'examen des différents modes de représentation montre une hyposensibilité dans presque tout le spectre, ce phénomène étant beaucoup plus marqué pour le monochromateur que pour l'anomalouscope. Il y a une certaine reprise de la sensibilité vers 480 m μ . La courbe logarithmique est peu écartée de la normale, l'hyposensibilité se faisant sentir dans la plus grande partie du spectre.

C. - MOYENNE DES SUJETS TRITANOPE

L'étude porte sur la moyenne de huit résultats au monochromateur et de cinq résultats à l'anomaloscope.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une surface de vision presque identique à la normale (94 %). Il y a quatre maxima de sensibilité : deux très nets à 550 et 530 m μ , deux autres, peu marqués, à 488 et 450 m μ (Fig. 3). La courbe de sensibilité relative accuse davantage ces maxima (Fig. 2). La courbe différentielle indique trois maxima situés à 550, 530 et 490 m μ . (Fig. 13).

La courbe comparative est presque symétrique autour de 550 m μ , hypersensibilité pour le rouge et le jaune, hyposensibilité dans le vert et le bleu. La courbe a une longueur de 30 cm. (Fig. 18)

La courbe logarithmique est complètement à gauche de la normale et toujours en dehors de la zone ombrée. Elle a une longueur de 20 cm, ce qui est très court et montre la régularité du phénomène observé. (Fig. 23)

La représentation circulaire indique un léger déséquilibre entre les deux zones, identique à celui des deutéranopes, mais avec Z_1 supérieur à la moyenne normale (107 %), Z_2 est légèrement inférieur (94 %), ce qui donne le rapport de 1,12. (Fig. 28)

La représentation angulaire est très proche de la normale. Les variations sont faibles. On a 0,94 à 515 m μ et 1,21 à 480 m μ . La courbe a une longueur de 12 cm seulement. (Fig. 33)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une aggravaation de la surface de vision par rapport à la normale (128 %). La forme de la courbe s'apparente à une forme en cloche mais est assez déformée, elle se présente qu'à un maximum de sensibilité à 530 m μ (Fig. 32). Il en est de même pour la courbe de sensibilité relative (Fig. 43). La courbe différentielle présente trois maxima de sensibilité, situés à 640, 540 et 450 m μ (Fig. 48).

La courbe tirée du calcul statistique est presque symétrique autour de 510 m μ , hypersensibilité dans le rouge, le jaune et le vert, hyposensibilité dans le bleu-vert, le bleu et le violet (Fig. 53).

La courbe comparative confirme ce résultat ; elle est assez courte : 31 cm, ne présentant pas d'oscillations autour de la normale. (Fig. 58)

La courbe logarithmique est entièrement située à gauche de la normale et en dehors de la zone ombrée à partir du point 4. Elle a une longueur de 24 cm. (Fig. 63)

La représentation circulaire indique un déséquilibre entre les deux zones. On a $Z_1 = 114 \%$ et $Z_2 = 93 \%$, soit un rapport de 1,22, plus élevé que pour les deutéranopes. (Fig. 68)

La représentation angulaire présente des oscillations plus marquées que celles obtenues avec l'anomaloscope. On trouve : 0,86 à 580 m μ et 1,57 à 405 m μ . La courbe a une longueur de 16 cm. (Fig. 73)

En conclusion, l'examen des différents modes de représentation fait apparaître un déséquilibre entre grandes et petites longueurs d'onde, la vision dans le vert étant sensiblement normale. L'hyposensibilité dans le bleu et le violet s'accompagne d'une hypersensibilité dans le rouge et le jaune.

D. - SUJET TETARTANOPE

Nous avons examiné dans le chapitre précédent les courbes obtenues pour le sujet N° 86. C'est le seul cas indiscutable de tétartanopie que nous ayons rencontré. Un autre sujet, dont le cas était indéterminé, ne nous a pas paru pouvoir se ranger dans cette catégorie.

Nous rappelons donc brièvement les caractéristiques du sujet N° 86 :

Ce sujet est caractérisé par une hypersensibilité marquée dans tout le spectre sauf aux environs de 580 m μ . Il n'y a donc pas hyposensibilité pour le jaune, mais une hypersensibilité dans tout le reste du spectre, ce qui crée un déséquilibre.

E. - MOYENNE DES SUJETS ACHROMATOPSIQUES

L'étude porte sur la moyenne de dix résultats au monochromateur et de six résultats à l'anomaloscope.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une surface de vision très

inférieure à la vision moyenne des sujets normaux (53 %). Il y a hyposensibilité dans presque tout le spectre et l'on observe 5 maxima de sensibilité, situés à 590, 550, 530, 490 et 450 $m\mu$ (Fig. 4). Les résultats obtenus sont identiques pour la courbe de sensibilité relative (Fig. 9). Par contre, il n'y a que 3 maxima de sensibilité pour la courbe différentielle ; ils sont situés à 550, 510 et 450 $m\mu$. (Fig. 14)

La courbe comparative est toujours située au-dessus de la normale, à l'exception de deux zones d'hyposensibilité, aux environs de 590 et 450 $m\mu$. La courbe a une longueur de 52 cm. (Fig. 19)

La courbe logarithmique n'est pas très éloignée de la normale ; les points 1, 7, 8, 15 sont en zone Nagel et les points 10 et 14 en zone Dalton. La courbe a une longueur de 29 cm. (Fig. 24)

La représentation circulaire indique une hyposensibilité dans les deux régions du spectre. On trouve, en effet, $Z_1 = 91 \%$ et $Z_2 = 89 \%$, soit un rapport de 1,02, à peine supérieur à la normale (Fig. 29).

La représentation angulaire confirme l'hyposensibilité de ces sujets. Les variations vont de 0,96 à 590 $m\mu$ à 1,37 à 500 $m\mu$ (Fig. 34).

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire se rapprochent de la courbe moyenne des sujets normaux, mais indiquent une hyposensibilité extrêmement marquée (surface de vision : 23 %). Il n'y a qu'un maximum de sensibilité à 530 $m\mu$, très inférieur à la normale. On observe une ébauche de maxima à 580 et 450 $m\mu$ (Fig. 39). La courbe de sensibilité relative exagère le manque de sensibilité brutale à partir de 440 $m\mu$ (Fig. 44). La courbe différentielle, très différente, indique 3 maxima situés à 580, 530 et 460 $m\mu$ (Fig. 49).

La courbe tirée du calcul statistique limite pratiquement la vision des couleurs à une zone comprise entre 610 et 450 $m\mu$, avec une hyposensibilité encore très marquée dans le vert (Fig. 54).

La courbe comparative est toujours située au-dessus de la normale. Elle a une longueur de 29 cm. (Fig. 59)

La courbe logarithmique s'écarte peu de la normale ; seuls les points 1, 13, 14 et 15 sont en zone Nagel. La courbe a une longueur de 26 cm. (Fig. 64).

La représentation circulaire fait ressortir l'hyposensibilité de ces sujets dans tout le spectre, mais plus marquée aux deux extrémités. On trouve, en effet, les valeurs suivantes : $Z_1 = 71 \%$, $Z_2 = 68 \%$, soit un rapport de 1,05; (Fig. 69)

La représentation angulaire se trouve toujours située à l'extérieur de la normale. Les variations sont peu importantes, les valeurs extrêmes étant 1,18 à 450 $m\mu$ et 1,20 à 580 $m\mu$, avec, à l'opposé, 1,54 à 410 $m\mu$, 1,51 à 440 $m\mu$ et 1,39 à 675 $m\mu$. La courbe a une longueur de 17 cm. (Fig. 74)

F. - MOYENNE DES SUJETS ANOMAU

Nous avons rassemblé sous ce terme les sujets classés comme type Balfour, estimant trop artificielle une distinction en protanomaux, deutéranomaux, et tritanomaux. L'étude porte sur une moyenne de dix résultats, tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur.

Examen à l'anomaloscope

Les courbes de sensibilité liminaire indiquent une surface de vision nettement inférieure à la vision moyenne des sujets normaux (69 %). Le maximum de sensibilité se situe à 530 $m\mu$, comme pour les sujets normaux, et on observe trois autres maxima à 590, 490 et 450 $m\mu$. (Fig. 5)

La courbe de sensibilité relative confirme les positions des maxima (Fig. 10) mais la courbe différentielle en fait apparaître deux nouveaux, à 680 et 470 $m\mu$. (Fig. 15)

La courbe comparative est presque toujours située au-dessus de la normale, ne laissant apparaître que deux zones d'hypersensibilité, entre 620 et 590 $m\mu$, et vers 450 $m\mu$. La courbe a une longueur de 55 cm (Fig. 20).

La courbe logarithmique s'écarte peu de la normale. Les points 1, 7, 8, 9 sont en zone Nagel, les points 14 et 15 en zone Dalton. La courbe a une longueur de 29 cm. (Fig. 25)

La représentation circulaire donne des valeurs proches de la normale. On obtient, en effet, pour $Z_1 : 94 \%$ et pour $Z_2 : 91 \%$, soit un rapport de 1,035. (Fig. 30)

La représentation angulaire indique des variations assez faibles, les valeurs extrêmes étant 0,96 pour 590 $m\mu$ et 1,22 pour 500 $m\mu$. La courbe a une longueur de 15 cm. (Fig. 35)

Examen au monochromateur

Les courbes de sensibilité liminaire font apparaître une hyposensibilité marquée dans toute l'étendue du spectre visible. La surface de vision est nettement diminuée (51 % de la moyenne des sujets normaux). On observe trois maxima de sensibilité, situés à 530, 490 et 460 m μ (Fig. 40). La courbe de sensibilité relative confirme ces résultats (Fig. 45) La courbe différentielle présente quatre maxima, situés à 550, 510, 475 et 440 m μ (Fig. 50)

La courbe tirée du calcul statistique montre des variations particulièrement importantes aux deux extrémités du spectre visible (Fig. 55).

La courbe comparative est toujours située au-dessus de la normale et présente peu d'oscillations : elle a une longueur de 29 cm (Fig. 60).

La courbe logarithmique se trouve presque entièrement à l'intérieur de la zone ombrée, comme la courbe d'un sujet normal. Seuls les points 1, 13, 14 et 15 sont situés en zone Nagel. La courbe a une longueur de 26 cm (Fig. 65).

La représentation circulaire indique une hyposensibilité légèrement plus marquée pour les courtes longueurs d'onde. On retrouve exactement les mêmes valeurs qu'avec l'anomaloscope, soit : $Z_1 = 94 \%$, $Z_2 = 91 \%$, ce qui donne un rapport de 1,035 (Fig. 70)

La représentation angulaire fait apparaître des variations plus importantes que celles obtenues avec l'anomaloscope. Les valeurs extrêmes s'observent dans les courtes longueurs d'onde et vont de 1,02 à 420 m μ , à 1,49 à 405 m μ . La courbe a une longueur de 16 cm. (Fig. 75).

II. - LA POSITION DES MAXIMA

A. - TYPE NORMAL : obtenu avec 31 sujets hommes et femmes, au monochromateur et 23 à l'anomaloscope.

- La maximum de sensibilité se situe la plupart du temps à 530 m μ . On note cependant un assez grand nombre de réponses à 510 m μ pour le monochromateur, et à 590 m μ pour l'anomaloscope. Il est à remarquer que plusieurs sujets ayant le maximum de sensibilité à 530 m μ ont cependant un seuil supérieur à la moyenne, que ce soit au monochromateur ou à l'anomaloscope. Nous indiquons, sur une courbe, les résultats obtenus. On remarque qu'un sujet parfaitement

normal aux tests et nullement gêné dans les examens de laboratoire, a son maximum de sensibilité à 415 m μ au monochromateur (Fig. 76 et 77).

- On observe, pour ces sujets normaux, au moins trois maxima de sensibilité, et souvent quatre ou cinq, tant au monochromateur qu'à l'anomaloscope. Dans la grande majorité des cas, il s'agit d'une véritable hypersensibilité; au monochromateur, les proportions sont sensiblement les mêmes qu'à l'anomaloscope.

Nous trouvons ainsi 7 sujets ayant trois maxima, 14 en ayant quatre, et 10 en ayant cinq.

Ces maxima de sensibilité se répartissent approximativement en cinq zones que nous désignerons par (a), (b), (c), (d), (e) (Fig. 78 et 79).

(a) entre 640 et 590 m μ , le phénomène étant plus net à 610 m μ au monochromateur, et 590 m μ à l'anomaloscope ;

(b) autour de 530 m μ , mais on trouve un certain nombre de maxima à 510 m μ à l'anomaloscope ;

(c) entre 490 et 470 m μ , le phénomène est plus net pour 475 m μ au monochromateur, et 490 m μ à l'anomaloscope ;

(d) autour de 450 m μ ;

(e) aux environs de 415 m μ , ce phénomène n'étant observé qu'avec le monochromateur.

- Les valeurs présentant une hypersensibilité par rapport à la moyenne normale se répartissent d'une manière à peu près uniforme tout le long du spectre, tant au monochromateur qu'à l'anomaloscope. (Fig. 80 et 81)

B. - TYPE PROTANOPE

L'étude porte sur 10 sujets masculins, tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur :

- Le maximum de sensibilité se trouve déplacé vers les petites longueurs d'onde, le plus grand nombre des réponses étant situé entre 510 et 490 m μ (Fig. 82 et 83).
- On observe fréquemment un seul maximum de sensibilité, et rarement plus de trois. Par contre, il s'agit toujours d'une véritable hypersensibilité.

C'est ainsi qu'au monochromateur 4 sujets présentent un seul maximum de sensibilité, 3 en ont deux, et les 3 autres, trois. Les résultats sont un peu différents à l'anomaloscope, où un seul sujet présente un seul maximum de sensibilité, 2 en ayant deux, 6 en ayant trois, et un seul en ayant quatre.

- La position des maxima de sensibilité se présente d'une façon bien différente de celle des sujets normaux. (Fig. 84 et 85)
 - Il n'existe plus de zone (a)
 - La zone (b), qui est de beaucoup la plus importante, se trouve déplacée vers les courtes longueurs d'onde (530 à 490 $m\mu$).
 - Les zones (c) et (d) sont fusionnés, le maximum étant vers 460 $m\mu$.
 - Enfin, nous notons deux maxima, à 420 $m\mu$, au monochromateur.
- Les valeurs présentant une hypersensibilité par rapport à la moyenne des sujets normaux se situent presque uniquement entre 550 et 415 $m\mu$ (Fig. 86 et 87).

Si nous considérons les autres modes de représentation, les protanopes seront caractérisés par les points suivants :

- Hyposensibilité marquée dans le rouge et le jaune, ainsi que dans le violet extrême, avec une hypersensibilité plus ou moins accentuée dans le vert et le bleu, caractères mis en évidence par les courbes comparatives et les courbes tirées du calcul statistique.
- Courbe logarithmique située à droite de la normale et en dehors de la zone ombrée.
- Représentation circulaire avec Z_1 généralement inférieur à la moyenne des sujets normaux, Z_2 étant nettement supérieur, ce qui donne un rapport inférieur à l'unité.
- Représentation angulaire indiquant des variations importantes de sensibilité sans que la longueur de la courbe soit très grande.

En réalité, il semble que l'on puisse distinguer, d'après l'examen des courbes, et en particulier des courbes logarithmiques, trois types différents :

-) un type voisin de l'achromatopsie (un seul maximum de sensibilité) hyposensible pour presque toute l'étendue du spectre visible, mais dont l'hyposensibilité est plus marquée dans le rouge et l'orangé.
-) un type correspondant au protanope classique, hyposensible dans le rouge et l'orangé, et hypersensible dans le vert et le bleu.
-) enfin, un dernier type caractérisé par une vision presque normale dans le rouge et l'orangé, mais possédant une hypersensibilité très accentuée dans le bleu et le violet

C. - TYPE DEUTERANOPE

L'étude porte sur 10 sujets (7 hommes et 3 femmes), tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur.

- Le maximum de sensibilité se trouve déplacé vers les grandes longueurs d'onde et se trouve situé aux environs de $590\text{ m}\mu$. (Fig. 88 et 89)
- Le nombre des maxima de sensibilité pour un individu varie avec le sujet examiné. C'est ainsi que nous observons au monochromateur 5 sujets présentant deux maxima, un sujet présentant trois maxima, et 3 en présentant cinq, un seul n'en ayant qu'un. Au monochromateur, 2 sujets ont deux maxima de sensibilité, 3 en ont trois et 5 en ont quatre.

Ces maxima de sensibilité correspondent souvent à un seuil supérieur à la moyenne des sujets normaux.

- La position des maxima de sensibilité est très différente de celle obtenue avec les sujets normaux et les protanopes :
 - La zone (a) devient la plus importante.
 - La zone (b) est supprimée.
 - La zone (c) apparaît très réduite à l'anomaloscope.
 - La zone (d) subsiste.
 - La zone (e) est supprimée.
- Les valeurs présentant une hypersensibilité par rapport à la moyenne des sujets normaux se situent presque uniquement entre 710 et $550\text{ m}\mu$. (Fig. 92 et 93)

Si nous considérons les autres modes de représentation, les deutéranopes seront caractérisés par les points suivants :

- Hypersensibilité légère dans le rouge, le jaune et le bleu, hyposensibilité dans tout le reste du spectre.

Ces caractères sont mis en évidence par les courbes comparatives et celles tirées du calcul statistique.

- Courbe logarithmique située à gauche de la normale mais s'en écartant moins que dans le cas des protanopes.
- Représentation circulaire avec Z_1 voisin de la normale et Z_2 toujours inférieur à la normale, ce qui donne un rapport toujours supérieur à l'unité.
- Représentation angulaire indiquant des variations importantes de sensibilité avec une courbe assez allongée.

Le type deutéranope semble moins bien individualisé que le type protanope, et davantage susceptible de variations chez un même individu.

D. - TYPE TRITANOPE

L'étude porte seulement sur 8 sujets, au monochromateur (6 hommes et 2 femmes) et 5 sujets à l'anomaloscope (3 hommes et 2 femmes). La diminution du nombre de sujets ayant servi à établir la moyenne tritanope provient de la plus grande rareté de cette anomalie. Cette rareté pourrait être plus apparente que réelle et provenir du manque de tests permettant de dépister cette anomalie niée par plusieurs auteurs.

- Le maximum de sensibilité se trouve légèrement déporté vers les grandes longueurs d'onde. Sa valeur est toujours inférieure au seuil de la moyenne des sujets normaux. La position du maximum varie selon les sujets, entre 590 et 510 $m\mu$. (Fig. 94 et 95)
- Le nombre des maxima de sensibilité ne semble pas constant. C'est ainsi qu'on observe, pour le monochromateur, 4 sujets ayant deux maxima et 4 en ayant trois. A l'anomaloscope, deux sujets présentent deux maxima, 2 en présentent quatre, et un seul en présente cinq.
- La position de ces maxima de sensibilité est encore différente des résultats précédents. (Fig. 96 et 97)
 - La zone (a) subsiste.
 - La zone (b) subsiste aussi avec une importance plus faible que chez les sujets normaux.

- La zone (c) est très atténuée.
- Les zones (d) et (e) sont supprimées.
- Les valeurs présentant une hypersensibilité par rapport à la moyenne des sujets normaux se trouvent presque exclusivement entre 710 et 490 $m\mu$ (Fig. 85 & 89).

Si nous considérons les autres modes de représentation, les tritanopes seront caractérisés par les points suivants :

- Hyposensibilité dans le bleu et le violet, hypersensibilité dans tout le reste du spectre visible, mais surtout marquée dans le vert et le rouge.
- Courbe logarithmique située à gauche de la normale et beaucoup plus écartée de celle-ci que dans le cas des deutéranopes, à part les deux ou trois premiers points.
- Représentation circulaire avec Z_1 très largement supérieur à la normale, et Z_2 légèrement inférieur, ce qui donne un rapport nettement supérieur à 1'unité.
- Représentation angulaire présentant de grandes variations de sensibilité avec une courbe assez allongée.
- Le type tritanope se caractériserait par un manque total de sensibilité dans le violet, une légère hyposensibilité dans le bleu et une très grande hypersensibilité dans le jaune et le rouge.

E. - TYPE TETARTANOPE

Nous ne pouvons examiner ici que le seul cas indiscutable que nous ayons rencontré.

- Le maximum de sensibilité se trouve à 530 $m\mu$ à l'anomaloscope, et à 475 $m\mu$ au monochromateur.
- Ce sujet présente 4 maxima de sensibilité, tant à l'anomaloscope qu'au monochromateur.
- Les maxima de sensibilité sont répartis tout le long du spectre, comme pour les sujets normaux.
- Le sujet est hypersensible dans toute l'étendue du spectre, à l'exception de 580 $m\mu$ au monochromateur, et entre 580 et 540 $m\mu$ à l'anomaloscope.

F. - TYPE ACHROMATOPSIQUE

L'étude porte sur dix sujets au monochromateur (huit hommes et deux femmes) et six sujets à l'anomaloscope (cinq hommes et une femme).

- La position du maximum de sensibilité est très variable : 590, 550, 530 et 465 m μ pour l'anomaloscope, mêmes valeurs à peu près pour le monochromateur ; mais alors que ces maxima correspondent à une hypersensibilité à l'anomaloscope, il n'en est pas de même au monochromateur (Fig. 100 et 101)
- Le nombre des maxima de sensibilité dans la courbe de vision d'un même sujet est généralement de quatre ou de cinq, mais ces maxima correspondent fréquemment à une valeur plus élevée que le seuil de discrimination de la moyenne des sujets normaux.
- Les maxima de sensibilité se trouvent répartis tout le long du spectre. (Fig. 102 et 103).
 - La zone (a) subsiste, bien que réduite.
 - Les zones (b) et (c) sont réduites, elles aussi.
 - La zone (d) et la zone (e) subsistent.
- Les valeurs correspondant à une hypersensibilité sont peu nombreuses et se retrouvent tout le long du spectre au monochromateur, mais d'une façon irrégulière. A l'anomaloscope, ces valeurs se retrouvent surtout pour le jaune et le bleu. (Fig. 104 et 105)

Les autres modes de représentation graphique mettent en évidence les caractères suivants :

Le sujet achromatopsique est caractérisé par de brusques variations de sensibilité dans plusieurs portions du spectre visible, mais le phénomène se produisant pour des bandes assez étroites, la moyenne des résultats donne des courbes se rapprochant de la moyenne des sujets normaux avec des seuils de vision beaucoup plus élevés.

La courbe logarithmique se situe souvent de part et d'autre de la normale, et la moyenne des résultats se superposera presque à la normale.

La représentation circulaire indique des valeurs de Z_1 et Z_2 , toutes deux inférieures à la normale, et le rapport sera voisin de l'unité.

La représentation angulaire indique de fortes variations et les courbes sont très allongées.

G. - TYPE BALFOUR

Nous groupons sous cette denomination les différentes catégories d'anomaux. Il est, en effet, difficile de distinguer par des tests les trois catégories, et c'est l'étude des résultats obtenus à l'anomaloscope et au monochromateur qui permet de les différencier.

En fait, la limite entre un sujet normal et un sujet type Balfour est très imprécise, car la vision des couleurs n'est pas un phénomène statique, mais varie dans le temps.

L'étude réalisée porte sur dix sujets, tant au monochromateur qu'à l'anomaloscope (quatre hommes et six femmes) comportant quatre protanomaux, quatre deutéranomaux et deux tritanomaux.

- La position du maximum de sensibilité se trouve dans la majorité des cas à 530 m μ et correspond souvent à une hypersensibilité. (fig 106 et 107)
- Le nombre des maxima de sensibilité dans la courbe de vision d'un sujet est généralement de 4 ou 5 (7 cas sur 10 à l'anomaloscope et 8 cas sur 10 au monochromateur), mais ces maxima correspondent souvent à une valeur supérieure à la moyenne des sujets normaux.
- Les maxima de sensibilité se trouvent répartis tout le long du spectre. (fig. 108 et 109)
 - Les zones (a) (b) et (c) subsistent mais sont réduites.
 - La zone (d) subsiste sans changement.
 - La zone (e) se révèle relativement plus importante que chez les sujets normaux.
- Les valeurs correspondant à une hypersensibilité sont peu nombreuses dans le vert et le bleu-vert. (fig. 110 et 111)

Les différents modes de représentation graphique, pour la moyenne de ces sujets, donnent des résultats voisins de ceux obtenus avec la moyenne des sujets normaux.

Le type Balfour semble donc être caractérisé par une vision des couleurs assez semblable à celle des sujets normaux mais nécessitant un seuil plus élevé.

En examinant l'ensemble de ces résultats il ne nous semble pas possible de nier l'existence des tritanopes et des tétartanopes, et nous serions tenté de donner raison à la fois aux auteurs qui placent le troisième pigment dans le bleu, et à ceux qui le placent dans le violet. (38)

Nous devons cependant insister sur les variations des positions des maxima de sensibilité et sur la différence entre les courbes individuelles et la courbe moyenne d'un groupe de sujets, courbe qui tend toujours à devenir une courbe en cloche et tend donc à diminuer les différences individuelles.

Il faut, enfin, remarquer que la position du maximum de sensibilité dépend beaucoup du mode opératoire et du mode de représentation.



CHAPITRE VI

INCONVENIENTS de TRAVAIL RENCONTRES par les DYSCHROMATOPSIQUES et ESSAIS de CORRECTION

Nous nous proposons d'examiner dans ce chapitre un certain nombre de difficultés rencontrées par les sujets anormaux dans les examens de laboratoire.

Nous indiquerons ensuite comment nous avons pu atténuer ces inconvénients et nous signalerons l'action bénéfique ou néfaste de certaines substances médicamenteuses.

Nous avons remarqué dès le début de nos études que certains sujets dits "Daltoniens" étaient fortement gênés pour distinguer une double coloration faisant contraste pour les sujets normaux, aussi bien en Botanique qu'en Bactériologie. Par la suite, nous nous sommes aperçu que les mêmes sujets éprouvaient une grande difficulté à effectuer certains dosages chimiques et physiques dès que l'œil devait apprécier une couleur.

Nous nous sommes donc attaché à dresser une liste assez importante, mais non limitative, des inconvénients rencontrés par ces sujets et, pour essayer d'y remédier, nous avons jugé utile de nous rendre compte par nous-même de ce que pouvaient éprouver ces sujets.

Nous avons donc essayé de reproduire, à l'aide de filtres et de verres colorés, des anomalies de vision des couleurs en utilisant, comme moyen de contrôle, les tests colorés. Nous avons ensuite essayé de corriger les inconvénients rencontrés au laboratoire à l'aide de filtres et de verres colorés.

Nous indiquons ci-dessous les verres utilisés avec leurs bandes de transmission (estimation approximative par essai spectroscopique).

Bandes de transmission
allant

N°1. - Verre luminal jaune	de 500 à 690 $m\mu$
N°2. - Verre brun foncé	de 440 à 460 - & de 500 à 690 -
N°3. - Verre Fieuzal B	de 400 à 460 - 480 à 530 - 590 à 640 - & 655 à 750 -
N°4. - Verre brun pour microscope	de 440 à 750 -
N°5. - Verre bleuté pour microscope	de 425 à 725 -
N°6. - Verre vert pour microscope	de 460 à 690 -
N°7. - Verre pour chalumeau vert foncé	de 430 à 530 - & de 580 à 700 -
N°8. - Verre bleu azur	de 400 à 665 -

Les filtres utilisés ont été des filtres Wratten-Kodak.

Filtres Wratten. -

Ces filtres qui, comme on le sait, sont constitués par une feuille de gélatine colorée, sont livrés par le fabricant accompagnés d'un diagramme indiquant la courbe spectrale de la lumière transmise. Cette courbe définit entièrement le comportement réel du filtre. Mais, comme il est difficile de caractériser dans le langage technique un filtre déterminé par des constantes liées à sa courbe, les données numériques que les Etablissements Kodak fournissent sont relatives au "pourcentage de transmission" global de la lumière blanche par le filtre, rapporté à une longueur d'onde moyenne calculée. Quant le filtre possède un spectre comportant une seule bande d'absorption à maximum unique, et dont la forme est symétrique par rapport à la position du maximum, celui-ci étant voisin de 5.000 Å, on peut dire que la longueur d'onde calculée moyenne coïncide à peu près avec la longueur d'onde physiologiquement équivalente pour l'oeil humain. Mais dans tous les autres cas (courbe située vers le rouge, ou vers le violet, ou courbe à plusieurs maxima ou minima), la notion même de "longueur d'onde fondamentale", ou de "longueur d'onde moyenne" devient absurde. Le cas le plus typique est celui du filtre N° 32 Wratten, qui est un filtre pourpre (couleur dite "Magenta") et dont la longueur d'onde moyenne calculée est $\lambda = 552 m\mu$, longueur d'onde qui correspond au vert-jaune, c'est-à-dire juste la couleur complémentaire de la couleur du filtre. La chose se comprend très bien, puisque ce filtre laisse passer le rouge à une extrémité du spectre, et le bleu-violet à l'autre : la "moyenne" se situe dans le vert.

Nous donnons néanmoins, puisqu'elles servent de repère dans les désignations commerciales des filtres, les longueurs d'onde dites "moyennes" pour ceux que nous avons utilisés :

N° 8	.....	= 572 mμ	
N° 9	.....	= 574 -	
N° 12	.....	= 576 -	
N° 13	.....	= 542 -	
N° 15	.....	= 579 -	
N° 22	.....	= 595 -	
N° 25	.....	= 615 -	
N° 32	.....	= 552 -	(Magenta)
N° 38 A	.....	= 479 -	
N° 45	.....	= 481 -	
et association 25 + 12	.....	= 595 -	

I - Création d'anomalies chez les sujets normaux

Nous avons donc essayé ces différents verres et filtres indiqués, ainsi que quelques autres que nous désignons ci-dessous, pour voir s'il serait possible de créer, artificiellement chez des normaux, des anomalies. Les résultats obtenus ont été entièrement satisfaisants.

Voici le tableau des résultats obtenus :

N° 11	.....	= 550 mμ	Type deutéranomal
N° 13	.....	= 542 -	- deutéranope
N° 30	.....	= 499 -	- -
N° 32	.....	= 552 -	- -
N° 35	.....	= 567 -	Assombrissement sans anomalie nette.
N° 36	.....	= 566 -	Type protanope
N° 38 A	.....	= 479 -	- protanomal
N° 40	.....	= 516 -	- -
N° 45	.....	= 481 -	- -
N° 47	.....	= 464 -	Type protanope, presque achromatopsique
N° 49	.....	= 458 -	Type tritanomal
N° 58	.....	= 540 -	Ne permet de distinguer que le pourpre et le vert.

Associations :

30 + 9	Type deutéranope
45 + 15	Type protanope, presque achromatopsique
58 + 15	Deux teintes seulement restent perceptibles : pourpre-brun et gris-vert.
45 + 58	Type protanope
49 + 45	- -
45 + 35	Achromatopsique

45 + 47	Type deutéranope
Verre N° 7	-
Verre N° 8	Type protanope

II. - Correction d'inconvénients rencontrés dans la lecture des tests.

Nous avons ensuite essayé de modifier la vision des sujets anormaux en tenant l'expérience sur les tests de Polack et d'Ishihara. Nous indiquons ci-dessous les résultats obtenus, portant sur l'examen de 41 sujets.

- a) Type protanope (10 sujets). Correction totale effectuée par le verre luminal jaune (N° 1) et les filtres Wratten 8, 9, 12, 15, 22, 25, 32, et l'association 25 + 12.
- b) Type deutéranope (10 sujets). Correction presque totale par le verre brun (N° 4) et les filtres Wratten 8, 9, 12, 15, 22, 25 et l'association 25 + 12.
La planche N° 9 des tests de Polack, qui représente pour un sujet normal un 9 vert sur fond gris, continue à ne pas être vue.
- c) Type tritanope (6 sujets). Correction totale par le verre bleu B (N° 3) et les filtres Wratten 8, 9, 12, 15, 22.
- d) Type achromatopsique (5 sujets). Correction presque totale par le verre luminal jaune (N° 1) et par le filtre Wratten 25. La planche 9 des tests de Polack n'est toujours pas vue.
- e) Type Balfour (10 sujets). Correction totale par le verre luminal jaune (N° 1) et le verre brun foncé (N° 2) ainsi que les filtres Wratten 8, 9, 12, 15, 22, 25, 32. Le sujet se plaint de la diminution de l'intensité lumineuse.

III. - Correction des inconvénients rencontrés dans les examens de laboratoire

Il faut noter tout d'abord que les corrections par des verres colorés ou par des filtres ne seront possibles que si l'intensité de la source lumineuse est suffisante. On devra utiliser des sources lumineuses ayant approximativement une luminance double de celles employées pour des sujets normaux.

A. - PHYSIQUE

1°) Colorimétrie

Le dosage du permanganate au colorimètre de Duboscq est pratiquement impossible pour les protanopes et assez délicat pour les deutéranopes. Il en est de même pour le dosage du bichromate de potassium. Au contraire,

les protanopes et les deutéranopes auront une sensibilité plus grande que les sujets normaux pour le dosage du sulfate de cuivre, dosage pour lequel les tritanopes auront de grandes difficultés. Il en sera de même pour tous les dosages effectués dans le bleu (Follin et Wu, par exemple).

Par contre, ces sujets donnent généralement de bonnes réponses par la méthode des dilutions au bloc Walpole, car, dans cette méthode, ils amènent les deux solutions à la même concentration, donc à la même intensité lumineuse pour une couleur donnée. Or, il semble bien que ce que l'oeil perd en faculté de distinguer les couleurs est gagné en possibilité de percevoir plus nettement les différences d'intensité lumineuse si celles-ci sont qualitativement égales.

L'emploi du filtre Wratten 8 permet aux tritanopes de réduire de 80 % la marge d'erreur dans les dosages effectués dans le bleu.

L'emploi du filtre Wratten 13 donne le même résultat pour les protanopes dans le dosage du bichromate et du permanganate. Par contre, il est difficile d'améliorer les deutéranopes, car il faudrait une intensité lumineuse très forte.

2. - Polarimétrie

Nous avons remarqué que la plupart des sujets de type Balfour éprouvaient une grande difficulté pour obtenir une égalisation des plages au polarimètre à pénombre. Il en est de même pour les tétartanopes. L'erreur de lecture varie entre 30' et 1°. En présence du filtre Wratten 13, utilisé comme filtre d'oculaire, la précision est de l'ordre de 10', ce qui montre une nette amélioration.

3. - Spectroscopie

Les sujets protanopes ont une vision au spectroscope qui, la plupart du temps, ne va pas au-delà de 620 à 640 $m\mu$. L'utilisation d'un filtre Wratten 25 a permis à ces sujets de percevoir le spectre visible jusqu'à 650 à 690 $m\mu$.

Ce résultat est extrêmement important du point de vue théorique et confirme ce que nous avons déjà énoncé, c'est-à-dire qu'il est possible, si l'intensité lumineuse est suffisante, de donner à un sujet une perception visuelle dont il peut nommer la couleur, alors qu'il ne percevait rien pour une intensité plus faible. En effet, si un pigment ou une cellule spécialisée manquait aux protanopes, il ne serait pas possible, par utilisation de filtres colorés et augmentation de l'intensité lumineuse, de faire percevoir quoi que ce soit.

Le même résultat est obtenu pour les tritanopes à l'autre extrémité du spectre avec les filtres Wratten 45, 47 et 49, sans qu'il soit possible d'améliorer leur vision en deçà de 420 $m\mu$.

Les deutéranopes ne voient pas la raie verte du mercure (546 m μ) ; il n'a été possible de la rendre visible que dans 50 % des cas, par simple augmentation de l'intensité lumineuse, mais la plupart des sujets voyaient cette raie grise et ne la nommaient verte que par sa position dans le spectre.

B. - CHIMIE

Les difficultés de dosage observées sont tellement nombreuses qu'il est impossible de les indiquer toutes ; nous nous bornerons à rappeler les plus caractéristiques.

- Difficulté d'appréciation du virage dans la méthode de Kjeldahl pour le dosage de l'azote organique.
- Impossibilité presque totale de déterminer le virage du violet de méthyle, de l'hélianthine, du bleu de bromothymol ; ce phénomène étant plus marqué pour les deutéranopes que pour les protanopes et tritanopes.
- Recherche des borates (flamme verte du borate de méthyle invisible pour les deutéranopes.
- Formation de diméthylglyoxime du nickel (deutéranopes)
- Formation d'eau céleste (tritanopes)

L'emploi du filtre Wratten 32 (Magenta) permet d'améliorer le virage du violet de méthyle et la vision de la diméthylglyoxime du nickel.

L'emploi du filtre compensateur jaune 50 permet de réduire de 60 % l'erreur faite pour la virage de l'hélianthine. Il est possible de réduire encore cette erreur en mettant sous le bécher, mi-partie carton blanc et mi-partie filtre compensateur jaune.

C. - BOTANIQUE

Les protanopes et les deutéranopes sont très gênés pour distinguer la double coloration carmin aluné-vert d'iode. Il est possible d'obtenir dans les deux cas une assez bonne correction avec un écran photographique jaune, à condition d'augmenter notablement l'intensité lumineuse. Ceci permet en particulier à ces sujets de distinguer le sclérenchyme et les fibres péricycliques qui n'étaient pas vues auparavant.

D. - HISTOLOGIE

Il nous a été impossible d'obtenir des résultats, les préparations devenant trop sombres par emploi de filtres colorés.

E. - HEMATOLOGIE

La coloration au Giemsa-May-Grümwald, utilisée pour la formule leucocytaire, est indéchiffrable pour les protanopes (impossibilité de distinguer les neutrophiles des éosinophiles). Il est très difficile d'obtenir un résultat par l'emploi de filtres colorés, pour la même raison que dans le cas précédent.

F. - BACTERIOLOGIE

a) Coloration classique par la méthode de Gram

Les sujets protanopes distinguent très difficilement les bactéries gram + des gram - . Une légère amélioration est apportée par le filtre Wratten 25.

b) Recherche du Bacille de Koch

Les protanopes et certains protanomaux sont améliorés par l'emploi du verre bleuté (N° 5) dans la coloration à l'acide picrique, et du verre vert (N° 6) dans le Ziehl classique et la coloration à l'acide picrique. La recoloration par le vert malachite ne donne pas de résultat.

Les deutéranopes sont améliorés par le verre brun foncé (N° 2) et le verre brun (N° 4). Il en est de même avec les filtres Wratten 38 et 45 qui permettent la vision correcte du B.K. coloré par la méthode de Ziehl. Il est intéressant de remarquer que ces deux filtres utilisés par un sujet normal l'amènent à lire les tests comme le ferait un protanope léger. Les filtres 38 et 45 ont sensiblement la même longueur d'onde dominante (479 et 481 m μ), mais le filtre 45 est trois fois plus absorbant que le 38, il sera donc utilisé de préférence pour les sujets anormaux par hypersensibilité.

Une autre méthode permettra aux sujets anormaux de distinguer sans aucune difficulté le B.K., c'est la microscopie en fluorescence avec coloration par l'auramine.

ACTION DE CERTAINES SUBSTANCES MEDICAMENTEUSES

Nous avons, d'une part, étudié l'action de la vitamine A et de la vitamine B₁ sur des sujets anormaux, et, d'autre part, l'action de la dihydrostreptomycine et celle du tabac.

Nous indiquerons, en outre, les remarques de certains auteurs sur la création d'anomalies de la vision des couleurs par certaines substances médicamenteuses.

a) Action de la vitamine A

L'utilisation de vitamine A n'a apporté aucune amélioration aux deutéranopes. Par contre, une amélioration sensible a été obtenue chez deux protanopes par un complexe vitaminique contenant de la vitamine A et des vitamines du groupe B. Il n'est donc pas possible d'attribuer ce résultat uniquement à la vitamine A. Il faut remarquer, d'autre part, que les deux sujets améliorés avaient une vision qui n'était pas très déficiente dans le rouge mais qui montrait une grande hypersensibilité dans le bleu.

b) Action de la vitamine B₁

Cette vitamine utilisée seule n'a amené aucune amélioration chez les protanopes. Par contre, nous avons remarqué des résultats très intéressants chez les deutéranopes.

Nous donnons ici les réponses de deux sujets, parmi les plus caractéristiques, aux tests de Polack.

1er cas : (M. Re...)

Ce sujet présente un type deutéranope très prononcé. Il n'a jamais pu apercevoir la coloration de la flamme du borate de méthyle. Il a un oncle maternel présentant une anomalie de la vision des couleurs de type indéterminé.

Ce sujet s'est prêté volontairement à cette expérimentation. Il a pris un comprimé de Béviténe à 0,05 g. pendant douze jours.

Nous donnons les résultats sous forme de tableau. La 1ère colonne correspond à la réponse du sujet avant le traitement par la Béviténe, la 2ème colonne donne la réponse à la fin du traitement, la 3ème colonne indique la réponse d'un sujet normal.

Planche	Avant traitement	A la fin du traitement	Sujet normal
1	N	B. N.	D. N.
4	Rien	Serpent	Serpent
6	Rien	R peu net	R
9	Rien	9	9
14	Rien	0 peu net	0
21	Rien	2	2
26	Rien	2	2
34	2	8	6
35	8	7	7
41	Coq	Coq et V	V
Dix planches continuent à ne pas être vues.			

2ème cas (M. Br...)

Ce sujet présente un type deutéranope. La Béviline a été utilisée pendant la même durée et à la même dose que pour le sujet précédent.

Planche	Avant traitement	A la fin du traitement	Sujet normal
1	N	D. N.	D. N.
4	Rien	Serpent	Serpent
6	Rien	Une barre	R
9	Rien	8	9
11	Rien	5	5
14	Rien	0	0
15	Rien	5	5
20	Rien	5	5
25	Serpent	2	2
	Jaune		
30	Rien	9	2
39	Z	2	2
Les autres planches continuent à être lues selon le type Nagel.			

Nous avons choisi ces deux exemples pour montrer qu'une nette amélioration s'est produite mais qu'elle ne porte pas toujours sur les mêmes planches.

D'autres sujets ont pu être suivis par examen à l'anomaloscope et au monochromateur. Un de ces sujets a suivi, sur prescription médicale pour son état général, une cure de vitamines B₁ et B₁₂ par voie parentérale. La dose totale a été de 15 ampoules par mois pendant deux mois. Au bout du premier traitement, la courbe de vision très étroite avec maximum à 580 mμ s'était légèrement élargie et le maximum s'était déplacé à 550 mμ. Au bout du deuxième traitement, la courbe de vision ne présentait plus les caractères d'un sujet deutéranope mais d'un sujet tout au plus deutéranomal. En même temps, le sujet, qui éprouvait de grandes difficultés pour certains dosages où il avait à apprécier un virage du bleu au rose (teintes pastel), se sentait nettement amélioré (erreurs réduites de 80 %).

c) Action de la dihydrostreptomycine

Nous avons pu étudier sur trois sujets (un homme et deux femmes) l'action de la dihydrostreptomycine à l'occasion de prescriptions médicales.

Le produit prescrit était dans les trois cas de la dihydrostrepto-bipénicilline 1 gramme/1 million. La dose totale a été dans un cas de 10 g de dihydrostreptomycine, dans les deux autres cas de 8 g.

Les deux femmes présentaient toutes deux une vision type Balfour les faisant classer comme protanomaies. L'examen, effectué 15 jours après la cessation du traitement, à l'anomaloscope et au monochromateur, indiquait un type deutéranope. L'évolution avait été remarquée en fin de traitement à l'aide des tests de Polack et d'Ishihara.

Le troisième sujet présentait un type normal tant aux tests qu'aux appareils. Après traitement, l'examen au monochromateur et à l'anomaloscope indiquait un type deutéranope. La vision de ce sujet est redevenue normale au bout de six mois sans traitement spécial.

Par contre, les deux sujets féminins présentaient toujours une vision type deutéranope au bout d'un an. L'une de celles-ci ayant suivi ensuite, pendant un an, un traitement polyvitaminique, présentait une vision des couleurs sensiblement normale.

Nous ignorons comment a évolué la vision de l'autre personne.

d) Action du tabac

Nous avons pu examiner tant aux tests qu'à nos deux appareils de contrôle plusieurs sujets "grands fumeurs". Ils présentaient tous, à un degré plus ou moins accentué, le type tritanope. Pour Césarini (13), l'abus du tabac amène la disparition de la vision du vert.

Nous tenons à rappeler en outre les travaux de certains chercheurs qui ont remarqué, eux aussi, la modification de la vision des couleurs par certaines drogues.

e) Action de la santonine

Cette action a été sans doute une des mieux étudiées sous le nom de xanthopsie. La description qui en est faite par Césarini ne s'accorde pas entièrement avec celle d'Albahary (1).

Pour Césarini, tous les objets clairs sont vus d'un jaune-verdâtre correspondant à $570 \text{ m}\mu$, et les objets foncés sont vus violets. Les sensations seraient variables selon les doses et les individus. Pour Albahary, des troubles neurologiques se produisent à partir de dix centigrammes ; les objets prennent une teinte bleue ou violacée, puis ceux qui sont blancs ou fortement éclairés paraissent jaunes, et les autres vert-jaunâtre. La durée du phénomène varie, selon la dose de santonine, de quelques heures à deux jours, et proviendrait d'une intoxication du neurone périphérique et d'une altération de la perception des couleurs. Il peut même arriver que l'intéressé ne distingue plus de couleurs.

f) Action de la digitale

Les différents auteurs sont d'accord pour admettre la création d'anomalie de la vision des couleurs due à des troubles nerveux, mais, pour les uns, les objets sont vus en rouge et en jaune ou en bleu et en vert, et pour les autres, les objets paraissent pâles ou verdâtres, rouges ou jaunes. Il y aurait de toute façon une mauvaise perception des nuances du vert.

g) Action du sulfure de carbone

Celui-ci entraînerait une dyschromatopsie montrant les objets tantôt rouges, tantôt verts, et amènerait parfois à une xanthopsie avec rétrécissement du champ visuel (6) (7)

Le sulfure de carbone déterminerait une carence en vitamine B_1 avec atteinte du système nerveux central et périphérique.

Cette dyschromatopsie provoquée par le sulfure de carbone avec carence en vitamine B_1 pourrait expliquer les améliorations obtenues par nous sur plusieurs sujets par action de cette même vitamine.

- h) Nous citons maintenant un certain nombre de drogues qui provoqueraient des anomalies de la vision des couleurs sans que nous ayons trouvé une description précise des phénomènes observés. C'est ainsi que les oxazolidines, l'Aloès, la poudre de Cantharide, le Cédron, provoqueraient une vision jaune des objets ; le Datura, le Phytolacca, les sels d'osmium donneraient une vision verte, alors que la Ciguë et la Jusquiame donneraient une vision rouge ; les sels de mercure (13), le trichloréthylène, la quinine et la strychnine donneraient des altérations de la vision des couleurs ; enfin, le Lycopode et l'Ellébore blanc provoqueraient de l'héméralopie.

Il nous paraît intéressant de citer ici un extrait d'article de Maggiore (25) qui étudie tout particulièrement les dyschromatopsies acquises :

"Les dyschromatopsies acquises caractérisent de la manière la plus évidente les altérations du nerf optique, soit de nature inflammatoire, soit de nature dégénérative, ascendante et descendante..

"Les altérations du sens chromatique dans les maladies qui atteignent la conduction nerveuse optique produisent toujours un chromatisme à type deutéranope tandis que, selon la théorie de Mueller, la protanopie est un défaut rétinien."

Cette remarque est en parfait accord avec ce que nous avons noté dans de nombreux cas, à savoir que la vitamine B₁ améliorait notablement les sujets deutéranopes, alors que les protanopes se trouvaient mieux à la suite d'un traitement à base de vitamine A.

Nous pouvons remarquer, par la pauvreté et l'imprécision de cette énumération, combien ce problème a été peu étudié. Il nous semble cependant qu'il y aurait intérêt à l'effectuer d'une manière systématique, car, connaissant parfaitement le mode d'action de certaines drogues dans l'organisme, il serait peut-être possible, en étudiant l'action de ces drogues dans la vision des couleurs, de déduire le mécanisme de cette vision.

CHAPITRE VII

ETUDE STATISTIQUE de la FREQUENCE des DYSCHROMATOPSIES et CORRELATION entre les ANOMALIES de la VISION des COULEURS et la COLORATION des YEUX

Il reste un dernier aspect de ces travaux que nous n'avons pas encore eu l'occasion d'aborder et qui cependant nous paraît présenter suffisamment d'intérêt pour trouver place ici.

Il s'agit d'un travail de classement des sujets présentant des anomalies de la vision des couleurs ainsi que leur répartition en fonction de la couleur des yeux.

Tous les auteurs ou presque qui se sont intéressés au problème de la vision des couleurs ont tenté de faire des statistiques permettant une évaluation des sujets anormaux par rapport aux sujets normaux.

Dalton, le premier, s'il faut en croire Ovio (36), a fait cette recherche ; il aurait étudié deux classes de vingt-cinq élèves dans une école, et, trouvant une fois un anormal et l'autre fois deux anormaux, aurait conclu à une fréquence d'anomalie de 4 % chez les hommes. Des considérations ultérieures l'auraient conduit à penser que les anomalies chez les femmes sont dix fois moins fréquentes que chez les hommes.

O. N. Rood, dans son ouvrage de 1881, rappelle la statistique de Seebeck trouvant cinq daltoniens sur quarante-et-un élèves ; il ajoute que des statistiques effectuées en Angleterre ont montré un sujet atteint d'anomalie sur dix-huit.

Il est bien évident que des statistiques effectuées dans ces conditions sont dénuées de tout intérêt et de toute valeur, parce que portant sur un nombre trop réduit d'observations.

Il faut citer aussi les travaux du Docteur Favre qui, en 1875, étudia le cas de 1050 employés des chemins de fer et y découvrit 98 daltoniens, soit 9,33 % d'anormaux.

En 1876, le Professeur Holmgreen (19) procéda au même examen pour le compte des chemins de fer suédois, et sur 266 personnes examinées découvrit 13 daltoniens insoupçonnés, soit 4,8 %. Cet examen avait été effectué à l'aide de la collection des écheveaux de laines colorées décrite au début de cet ouvrage.

Rosmanit, en 1914, examina 3000 personnes et y découvrit 120 protanopes, soit une fréquence de 4 %, et au total 22 % de dyschromates.

Schwartz, en 1921, étudia 591 personnes et trouva 102 dyschromates, ce qui portait la fréquence d'anomalie à 17,25 %

Il serait fastidieux de citer toutes les statistiques effectuées, nous ne rappellerons maintenant que deux des plus connues et des plus souvent citées par les ouvrages scientifiques : Schmidt et Wright.

La statistique de Schmidt (1936), rappelée par Bouma (2), fut effectuée sur la population berlinoise à l'aide de l'anomaloscope de Nagel : elle porte sur 1700 sujets et se répartit de la manière suivante :

	<u>Hommes</u>	<u>Femmes</u>
Protanomaux	0,68 %	0,05 %
Deutéranomaux	4,01 %	0,27 %
Protanopes	1,08 %	0,02 %
Deutéranopes	1,78 %	0,02 %

La classification de Wright, effectuée en 1946, est citée par plusieurs auteurs, entre autres Murray (30) et Ségat (44). Elle est plus complète que celle de Schmidt et se répartit comme suit :

Monochromates	0,003 %
Dichromates :	
Deutéranopes	1,4 %
Protanopes	1,2 %
Tritanopes	0,0001 %
Trichromates :	
Deutéranomaux	4,6 %
Protanomaux	1 %
Tritanomaux	0,001 %

(Il est remarquable que le pourcentage donné pour les tritanopes correspond à l'examen d'au moins un million de sujets !)

Très récemment, Mariott (27) a fait une critique sévère des résultats présentés par cet auteur. En effet, Wright est arrivé à cette diffusion énorme en faisant paraître des planches colorées dans un magazine à grand tirage et en demandant, dans une note annexe, que les lecteurs lui répondent s'ils s'estimaient normaux ou non.

Or, il est très dangereux de demander à un profane de tirer de telles conclusions. Pour être valable, une statistique d'étude des dyschromatopsies doit être faite à partir d'examens effectués par la même personne, ou tout au plus par un nombre restreint de personnes habituées à travailler ensemble, ceci afin que les conclusions présentent une homogénéité parfaite.

Il y a un autre point important sur lequel nous tenons à insister particulièrement. Il ressort des études préalables des tests colorés que nous avons effectuées dans cet ouvrage, combien il est délicat d'obtenir des tests de nuances précises et combien ces couleurs de planches, une fois obtenues, se détériorent rapidement à la lumière. Dans ces conditions, quelle confiance peut-on faire aux reproductions faites par un magazine à grand tirage, outillé pour fournir un travail satisfaisant à la rentabilité et non à la précision scientifique ?

L'étude statistique que nous avons effectuée porte exactement sur 2202 sujets dont 1294 hommes et 1508 femmes, et s'est étendue sur six années universitaires consécutives, soit de Novembre 1951 à Juin 1957. Nous avons examiné personnellement et systématiquement aux tests de Polack et de Ishihara tous les étudiants se présentant au Laboratoire de Physique pour y effectuer leurs travaux pratiques. Dès le début de ces recherches, devant le manque de théorie stable et satisfaisante qui puisse expliquer les anomalies de la vision des couleurs, nous avons pensé qu'il pourrait être intéressant de rechercher de manière systématique s'il n'existerait pas une relation entre les dyschromatopsies et les couleurs d'yeux. Autrement dit, nous avons pensé qu'une certaine couleur d'yeux pourrait entraîner une plus grande fréquence de telle ou telle anomalie. Au fur et à mesure de l'avance de nos travaux, cette hypothèse, pratiquement sans fondement au départ, s'est confirmée régulièrement. Nous ne chercherons pas ici à expliquer ce phénomène, ni à en tirer une théorie du fonctionnement de l'oeil en tant que récepteur des couleurs ; ces remarques pourront servir de point de départ pour des travaux ultérieurs.

Méthode d'examen aux tests

Comme nous l'avons déjà indiqué, tous les sujets furent examinés aux tests de Polack pour effectuer un premier tri rapide, puis repassés aux tests de Ishihara pour confirmation.

L'examen a toujours été effectué à la lumière du jour et à la même heure avec cependant des intensités lumineuses un peu atténuées les jours couverts ; malgré le léger inconvénient présenté, il a été impossible d'éviter ces variations.

Les types Dalton et Nagel correspondent respectivement aux dénominations scientifiques de protanopes et deutéranopes, le type Balfour englobant indistinctement les protanomaux, les deutéranomaux et les tritanomaux.

Lors de la classification des sujets, nous avons décidé de ne pas tenir compte d'une erreur d'interprétation unique ; mais jamais nous n'avons tenté de récupérer des sujets qui avaient commis huit erreurs ou plus, en les testant à nouveau, soit à l'aide des mêmes planches, soit par des planches pseudo-isochromatiques de même nature.

Présentation des résultats.

Nous présentons donc ici deux séries de recherches :

- 1°) Un tableau général de statistique de la répartition des anomalies de la vision des couleurs, accompagné des graphiques correspondants montrant comment se répartissent les trois grands types d'anomalie adoptés par Polack dans sa classification (Dalton, Nagel, Balfour).

Cette répartition est étudiée sur l'ensemble des sujets examinés d'une part, sur les hommes et les femmes séparément d'autre part. (Tableau I)

- 2°) Un tableau statistique de la répartition de la couleur des yeux chez les étudiants examinés en général, ainsi que la répartition respective chez les hommes et les femmes (graphiques correspondants - Tableau II - Fig. 1)

Puis un tableau statistique de la répartition des anomalies en fonction de la couleur des yeux des sujets examinés (Tableau III), tableau accompagné de graphiques (Fig. 2).

Interprétation

L'examen des tableaux et des graphiques permet de tirer les conclusions suivantes :

1. - Il y a relativement plus d'anormaux chez les hommes que chez les femmes, mais le type Balfour est plus fréquent chez ces dernières que chez les hommes.
2. - On ne rencontre le type Dalton (protanope pur) que chez les hommes ; en fait, il nous a été donné de rencontrer une femme présentant aux tests de Polack et Ishihara le type Dalton, mais des examens ultérieurs nous ont démontré que cette conclusion était erronée. Nous reviendrons d'ailleurs ultérieurement sur ce sujet.

3. - La représentation en fonction de la couleur des yeux montre que ce sont les sujets à yeux verts qui présentent le plus grand nombre d'anomalies en général, viennent ensuite les yeux bruns et en dernier les yeux bleus.

Cette conclusion, faite sur l'ensemble des sujets examinés, reste vraie, en considérant les graphiques établis en tenant compte du sexe des sujets.

4. - Enfin, les yeux bleus, qui comportent le plus faible nombre d'anomalies, donnent le pourcentage le plus fort de sujets de type Dalton.

Ces travaux statistiques terminés, nous avons procédé à des examens supplémentaires de certains sujets particulièrement intéressants ; ceux-ci ont été examinés aux tests de Farnsworth, d'une part, et d'autre part, au monochromateur et à l'anomaloscope.

C'est ainsi que nous avons pu constater que la femme classée type Dalton était en réalité achromatopsique.

Nous tenons à faire remarquer quelques lacunes présentées par ce travail, que nous espérons améliorer lors de travaux ultérieurs.

D'abord, nous avons conservé pour la répartition des couleurs d'yeux les dénominations de bleu, vert, brun, qui sont insuffisamment nuancés ; il y aurait lieu, dans la reprise du travail, d'envisager des gammes plus complètes, telle - par exemple - la dénomination de Martin Sceller. D'autre part, nous avons conservé la classification de Polack en trois types, malgré ses inconvénients, ce qui a empêché la mise en évidence des achromatopsiques et des tritanopes. C'est en effet l'examen à l'anomaloscope, puis au monochromateur, qui a permis de mettre en évidence ces deux types généralement admis par les auteurs modernes.

D'après les résultats obtenus, il semble que nous avons classé les achromatopsiques dans le type Nagel, et les tritanopes, soit dans le type Balfour, soit dans le type Nagel, suivant les sujets.

Pour avoir une statistique comparable aux données modernes, il y aurait lieu de retirer 1 % de sujets au type Nagel, en les classant comme achromatopsiques, et 1 % respectivement au type Nagel et au type Balfour en les classant comme tritanopes.

Quant au reste du type Balfour, il pourrait se décomposer, si l'on accepte la dénomination classique, en 40 % de protanomaux, 40 % de deutéranomaux, et 20 % de tritanomaux. Enfin, il faudrait ajouter dans le groupe des achromatopsiques le seul sujet féminin type Dalton.

Ceci donnerait approximativement une nouvelle classification statistique correspondant au tableau ci-joint. (Tableau IV)

Les pourcentages d'anormaux que nous avons obtenus sont sensiblement supérieurs aux résultats des statistiques de Schmidt et de Wright et des généticiens.

Ces auteurs tiennent généralement pour négligeables les dyschromatopsies acquises et ne veulent pas admettre des résultats en contradiction avec les lois de la génétique.

Nous pourrions nous en inquiéter si nous ne connaissions pas les méthodes qui ont été utilisées pour des statistiques sur grande échelle avec une opinion *a priori* sur les chiffres à obtenir.

Nous constatons, au contraire, que les chiffres que nous avons trouvés confirment les enquêtes effectuées par des médecins, dans un but professionnel, c'est-à-dire dans le cas où il ne s'agissait pas d'illustrer une théorie mais de poser un diagnostic qui, s'il était erroné, pouvait avoir des conséquences tragiques.

Une enquête effectuée, pendant nos travaux, auprès des Services de dépistage de la S. N. C. F. et de la R. A. T. P. nous a confirmé le chiffre de 10 % de sujets éliminés pour dyschromatopsies. Il est évident que ce chiffre ne comprend pas les sujets type Balfour qui, généralement, ne sont pas éliminés.

En conclusion, nous tenons à insister sur l'arbitraire présenté par toute statistique portant sur des examens qui n'ont pas été effectués personnellement par l'auteur, ainsi que sur toute classification des dyschromatopsies ; en effet, la séparation de certains sujets entre deux types d'anomalies est souvent fort délicate. Il en est de même lorsqu'il faut préciser la limite entre le normal et l'anomal, puis entre l'anomal et l'anormal, et, enfin, il ne faut pas oublier qu'il y a souvent des fluctuations dans la vision des couleurs pour un même sujet.

CONCLUSIONS

- I. - Le diagnostic de l'anomalie de la vision des couleurs par les tests du type Stilling est difficile quand on soumet simultanément le même individu anormal à un grand nombre de tests (Stilling, Polack, Ishihara, Farnsworth, test suédois, etc...). Les résultats varient avec l'intensité de l'éclairage, la distance de l'oeil du sujet au test, la fatigue, et, enfin, la rapidité d'examen des schémas.
- II. - En utilisant deux anomaloscopes de notre fabrication, de principe entièrement différent, pour évaluer le seuil de sensibilité à la couleur d'un signal coloré de luminance croissante à partir de zéro, on obtient toujours des courbes seuil - longueur d'onde présentant de grandes irrégularités (plusieurs maxima et minima pour une seule courbe).
- III. - Les irrégularités relevées sur une courbe individuelle existent même dans le cas des sujets considérés comme normaux d'après les tests habituels.
- IV. - Les irrégularités de cette courbe s'atténuent si on fait la détermination chez le même sujet sur l'oeil droit et l'oeil gauche séparément, et qu'on construit une courbe moyenne ; elles s'atténuent plus encore si on établit une courbe moyenne pour plusieurs sujets. Quand l'opération est faite sur plus de quatre ou cinq sujets normaux pris au hasard, la courbe moyenne obtenue devient sensiblement symétrique et régulière, et comparable - avec un changement de coordonnée - à la courbe moyenne du Bureau of Standards, de Washington, qui a la forme d'une courbe de Gauss.
- V. - Différents modes de représentation graphique des résultats sont proposés.
- VI. - Ces modes de représentation font ressortir non seulement l'apparition chez certains sujets d'une hyposensibilité à certaines longueurs d'onde (élévation du

seuil de sensibilité), mais aussi chez certains autres une hypersensibilité (abaissement du seuil). Il est des sujets dont la vision est normale pour une partie du spectre mais hypersensible pour l'autre, ce qui crée un déséquilibre de la vision des couleurs tout à fait comparable à une déficience partielle.

VIII. - Chez un même individu examiné à plusieurs semaines ou mois d'intervalle la forme des courbes obtenues se modifie très sensiblement, ce qui fait prévoir l'importance de phénomènes pathologiques et physiologiques.

IX. - Les anomalies de la courbe se modifient sensiblement sous l'influence de certains traitements thérapeutiques ; des améliorations notables peuvent être obtenues d'autre part par l'utilisation de filtres ou de verres colorés judicieusement choisis.

OUVRAGES CITES

- (1) ALBAHARY (Cl.) Maladies médicamenteuses Masson - Paris 1963
- (2) BOUMA (P. J.) Les couleurs et leur perception visuelle
Dunod - Paris 1949
- (3) CESARINI (G.) Vision des couleurs - Thèse de Doctorat - Alger 1923
- (4) CHEVREUL (E.) Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs
d'après une méthode précise et expérimentale.
Paris 1923
- (5) DALTON (J.) Extraordinary facts relating to the vision of colours.
Mem. of the literary Soc. of Manchester
Manchester 1798
- (6) DELPECH (A.) Annales d'hygiène et de médecine légale
Paris 1863 (T. VI)
- (7) DEROBERT (L.) Intoxication et maladies professionnelles
Flammarion - Paris 1942
- (8) DONALDSON (R.) Proc. Phys. Soc. 1935 & 1937
- (9) DOVE (K.) Über den Einfluss der Helligkeit einer weissen Beleich-
tung auf die relative Intensität verschiedener Farben
Annalen d. Physik und Chemie - 1852
- (10) FABRY (Ch.) Introduction générale à la photométrie
Edit. de la revue d'Optique. - Paris 1927
- (11) FARNSWORTH (D.) The Farnsworth Munsell 100 Hue Test for the examina-
tion of color discrimination - Baltimore 1949
- (12) GOETHE (J. W.) Zur Farbenlehre - Tuebingen 1810
- (13) GRAMMONT (A. de) Problème de la vision Flammarion Paris 1939
- (14) GUICHARD (P.) La grammaire de la couleur - Paris 1872
- (15) GUILD (J.) The colorimetric properties of the spectrum
Phil. Trans. Royal Soc. - London 1931
- (16) GUILD (J.) The instrumental side of the colorimetry
J. Sci. Instr. - 1932
- (17) HARDY (H. L.), RAND (G.), RITTER (M. C.)
Pseudo-isochromatic Plates.
Amer. Optic. Instr. Div. - Hew-York 1955

- (18) HELMHOLTZ (H.) Handbuch der Physiologischen Optik
Hamburg - 1896
- (19) HOLMGREEN (F.) Die Farbenblindheit - Leipzig 1878
- (20) ISHIHARA (S.) Test for color blindness - Tokio 1952
- (21) JUDD (D. B.) Estimation of chromaticity differences
J. Opt. Soc. Amer. 1933
- (22) KHERUMIAN (R.), PICKFORD (R. W.)
Hérédité et fréquences des dyschromatopsies
Vigot - Paris 1959
- (23) LE GRAND (Y.) Optique physiologique
Ed. de la Revue d'Optique - Paris 1948
- (24) MAERZ (A.) A dictionary of color - New-York 1950
- (25) MAGGIORE (M. L.) Les dyschromatopsies acquises et le mécanisme de
la vision des couleurs.
Arch. d'Ophtalmologie - Paris 0951
- (26) MAXWELL (J.) On the theory of the colours spectrum
Phil. Trans. Royal Soc. - London 1861
- (27) MARIOTT (F. H.) The Eye (T. II) Academic Press
New-York & London 1962
- (28) MOTOKAWA (K) Nature - London 1951
- (29) MUNSELL (A. H.) Atlas of the Munsell color system - Boston 1951
- (30) MURRAY
Colour in theory and practice
Chapmann & Hall - London 1952
- (31) NAGEL (W) Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterschiedungs-
vermögens - Muenchen 1928
- (32) NAGEL (W) Zwei apparate für die Augenärztliche Funktionsprüfung
zur Augenheilkunde - Muenchen 1907
- (33) NEWTON (I.) A new theory about light and colours
Phil. Trans. Royal Soc.
- (34) NUTTING (P. G.) A new precision colorimeter
Bull. Bur. Stand. 1913
- (35) OBLATH (O.) Les tests de vision des couleurs
(Bureau International du Travail -Hygiène industrielle)
Genève 1929
- (36) OVIO (G.) La vision des couleurs - Alcan 1932 Paris
- (37) PASQUIER (M.) Adaptation des photomultiplicateurs à l'étude des
spectres de fluorescence - Thèse de Doctorat
Paris 1961
- (38) PIERON (H.) La sensation guide de vie - Gallimard Paris 1945

- (39) POLACK (A.) Traité d'Ophtalmologie
Arch. d'Ophtalmologie - Paris 1951
- (40) RAYLEIGH (Lord J.) Expériences of colour - Nature - London 1881
- (41) RICHARDS (O. W.) Color and illumination
Amer. Optic. Instr. Div. (C 3-1148) - New-York
- (42) ROOD (O. N.) Théorie scientifique des couleurs et leur application
à l'art et à l'industrie.
Bailliére - Paris 1881
- (43) SCHOFIELD (R. K.) J. Scien. Instr. 1939
- (44) SEGAL (J.) Le mécanisme de la vision des couleurs
Doin - Paris 1953
- (45) WALSH (J. W. T.) La mesure des sources lumineuses colorées
Endeavour (N° 20) - 1946
- (46) WRIGHT (W. D.) A redetermination of the trichromatic coefficients
of the spectral colours.
Trans. Opt. Soc. - London 1928
- (47) WRIGHT (W. D.) Colorimeters and colour standards comittee on
colorimetry
J. Opt. Soc. Amer. - New-York 1945
- (48) WRIGHT (W. D.) A trichromatic colorimeter for standardisation work
Trans. Opt. Soc. London 1927
- (49) YOUNG (T.) On the theory of light and colours
Phil. Trans. Royal Soc. - London 1802

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- BAUMGARDT (E.) C.R. Soc. Biol. 1949
- BAUMGARDT (E.) & SEGAL (J.) Ann. Psychol. 1947
- BERGER (P.) & SEGAL (J.) C.R. Soc. Biol. - 1949 - 1950 - 1951
- DARTNALL (H. S. A.) Nature - London 1950
- BOUASSE (H.) Vision et reproduction des formes et des couleurs
Paris 1917
- Dr. BRUCKE (E.) Des couleurs au point physique et physiologique,
artistique et industriel - Paris 1886
- CHARPENTIER (A.) La lumière et les couleurs au point de vue physiologique
Paris 1888
- DERIBERE (M.) La couleur dans les activités humaines - Paris 1955
- FER (Ed.) Solfège de la couleur - Paris 1953
- FLEURY (P.) Principes et conventions colorimétriques
Revue d'Optique - 1938
- GERMANDT (B.) & GRANIT (R.) J. Neurophysiol. - 1947
- GERMANDT (B.) Acta Physiol. Scand. 1947
- GRANIT (R.) Sensory mechanisms of the retina
Oxford Univ. Press - 1947
- KASTLER (A.) La diffusion de la lumière par les milieux troubles
Hermann - Paris 1952
- LYTHGOE (R. J.) J. Physiol. 1937
- LYTHGOE (R. J.) Proc. Roy. Soc. 1938
- KRUKENBERG (C. R. W.) Grundzüge einer vergleichenden Physiologie der
Farbstoffe und der Farben - Heidelberg.
- PAPPAS (C.) La vision colorée chez les peintres -
Montpellier 1910
- PIRAUX (H.) Lumières et sources lumineuses
Dunod - Paris 1954
- PIRENNE (M. H.) Les quanta de la lumière et la vision
Endeavour (N° 80) - 1961

- POLYAC (S. L.) The retina - Chicago Univ. Press 1941
- RIBAUD (H.) Mesures des températures - Paris 1942
- ROCHON - DUVIGNEAUD (A.) Les yeux et la vision des vertébrés
Masson - Paris 1943
- SCHAEFER (H.) & GOESPERT Pflügers Arch. 1936
- STUDNITZ (G. Von) Pflügers Arch. 1937
- SUAREZ de MENDOZA (F.) Couleur, son, perception - Paris 1889
- TARDUCCI (A.) La fisiopatologia del senso cromatico
Firenze 1917
- TROLAND (J. B.) Amer. J. of Physic. Opt. 1921
- WRIGHT (W. D.) Research on normal and defective color vision
Ed. Kimpton - London 1946

TABLE des MATIERES

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	5
La lumière et les couleurs au point de vue physique ..	5
Etudes de quelques photomètres	11
Récepteurs physiques d'énergie radiante	13
La lumière et les couleurs au point de vue psychophysiologie	18
La lumière et les pigments	23
Etude des colorimètres permettant des mesures précises	27
CHAPITRE II	
Vision normale des couleurs	35
Vision anormale des couleurs	35
Importance des conditions expérimentales	40
Techniques de dépistage et diagnostic des anomalies ...	41
Etude des tests subjectifs	42
Etude des appareils de dépistage	50
CHAPITRE III	57
Description de l'anomaloscope	59
Méthode d'établissement de la courbe moyenne des sujets normaux	60

Description du monochromateur	61
Etalonnage du monochromateur	63
Méthode d'établissement des courbes normales	65
Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes	68

CHAPITRE IV

Différentes formes de représentation des courbes de vision des couleurs	71
Examen de deux sujets normaux	79
Examen de trois sujets protanopes	84
Examen de trois sujets deutéranopes	89
Examen de deux sujets tritanopes	95
Examen d'un sujet tétartanope	99
Examen de deux sujets achromatopsiques	100
Examen de deux sujets indéterminés	104
Examen de trois sujets de type Balfour	108

CHAPITRE V

Etude des courbes moyennes des sujets protanopes	115
Etude des courbes moyennes des sujets deutéranopes ...	117
Etudes des courbes moyennes des sujets tritanopes	119
Etudes des courbes moyennes des sujets tétartanopes	120
Etude des courbes moyennes des sujets achromatopsiques	120
Etude des courbes moyennes des sujets anomaux	122
Position des maxima de sensibilité	123

CHAPITRE VI	133
Création d'anomalies chez les sujets normaux	135
Correction d'inconvénients rencontrés dans la lecture des tests	136
Correction des inconvénients rencontrés au laboratoire dans les examens par des sujets atteints de dyschromatopsies	136
Action de certains médicaments	140

CHAPITRE VII

Etude statistique de la fréquence des dyschromatopsies	145
Corrélation entre la couleur des yeux et les anomalies	149
CONCLUSIONS	151
OUVRAGES CITES	153
BIBLIOGRAPHIE GENERALE	156
TABLE des MATIERES	159

Vu, le Président de Thèse

Professeur M. GUILLOT

Vu, le Doyen de la Faculté

Professeur G. VALETTE

Vu et Permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris

le 11 juin 1963

J. ROCHE

